

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有權機關
國際事務局



(43) 國際公開日
2004 年 4 月 8 日 (08.04.2004)

PCT

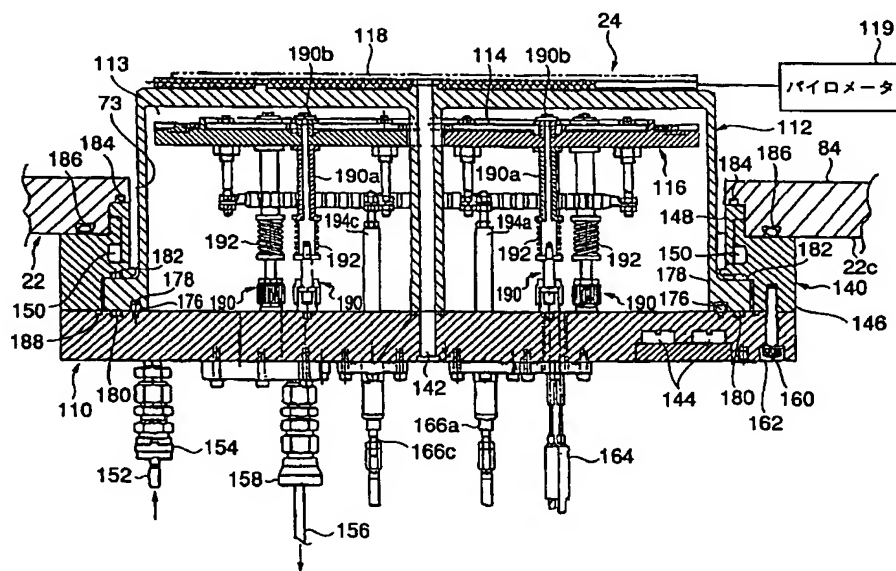
(10) 国際公開番号
WO 2004/030064 A1

- | | | |
|---|---------------------------------|--|
| (51) 国際特許分類 ⁷⁾ :
21/02, C23C 16/46, H05B 3/14 | H01L 21/31, | (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 堀口 貴弘
(HORIGUCHI, Takahiro) [JP/JP]; 〒220-0101 神奈川県 津久井郡 城山町町屋 1 丁目 2 番 4 1 号 東京エレクトロン E E 株式会社内 Kanagawa (JP). 桑嶋 亮
(KUWAJIMA, Ryo) [JP/JP]; 〒407-0192 山梨県 韮崎市 穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン A T 株式会社内 Yamanashi (JP). |
| (21) 国際出願番号: | PCT/JP2003/012084 | |
| (22) 国際出願日: | 2003 年 9 月 22 日 (22.09.2003) | |
| (25) 国際出願の言語: | 日本語 | |
| (26) 国際公開の言語: | 日本語 | (74) 代理人: 伊東 忠彦 (ITO, Tadahiko); 〒150-6032 東京都 渋谷区 恵比寿 4 丁目 20 番 3 号 恵比寿ガーデンプレイスタワー 32 階 Tokyo (JP). |
| (30) 優先権データ: | | (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, |
| 特願 2002-278198 | 2002 年 9 月 24 日 (24.09.2002) JP | |
| (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒107-8481 東京都 港区 赤坂五丁目 3 番 6 号 Tokyo (JP). | | |

〔統葉有〕

(54) Title: SUBSTRATE PROCESSING APPARATUS

(54) 発明の名称: 基板処理装置



119...PYROMETER

(57) Abstract: A substrate processing apparatus stably and efficiently conducting a film-forming process on a substrate (W) to be processed, wherein the substrate (W) is supported at a position facing a heater portion and a holding member for holding the substrate (W) is rotated. The heater portion has a quartz belljar which is made of a transparent quartz and houses an SiC heater and a heat reflecting member. By reducing the pressures in a process container and the quartz belljar, the thickness of the quartz belljar can be thinned. Consequently, the conductivity of the heat from the SiC heater is heightened accordingly and contamination by the SiC heater is prevented.

〔統葉有〕

WO 2004/030064 A1



TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU,
ZA, ZM, ZW.

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 本発明の基板処理装置は、被処理基板Wの成膜処理を安定且つ効率良く行うことを目的しており、基板
処理装置は、ヒータ部に対向する位置に被処理基板Wを支持すると共に、被処理基板Wを保持する保持部材を回転
させる。また、ヒータ部は、透明石英製の石英ベルジャの内部にS i Cヒータ及び熱反射部材を収納し、処理容器
の内部を減圧すると共に、石英ベルジャの内部も減圧することで、石英ベルジャの肉厚を薄くすることが可能にな
り、その分S i Cヒータからの熱伝導効率が高まり、且つS i Cヒータによるコンタミネーションも防止する。

明細書

基板処理装置

5 技術分野

本発明は基板処理装置に係り、特に基板に対し成膜などの処理を施す基板処理装置に関する。

背景技術

10 今日の超高速半導体装置では、微細化プロセスの進歩とともに、 $0.1\mu\text{m}$ 以下のゲート長が可能になりつつある。一般に微細化とともに半導体装置の動作速度は向上するが、このように非常に微細化された半導体装置では、ゲート絶縁膜の膜厚を、微細化によるゲート長の短縮に伴って、スケーリング則に従って減少させる必要がある。

15 しかしゲート長が $0.1\mu\text{m}$ 以下になると、ゲート絶縁膜の厚さも、従来の熱酸化膜を使った場合、 $1\sim 2\text{nm}$ 、あるいはそれ以下に設定する必要があるが、このように非常に薄いゲート絶縁膜ではトンネル電流が増大し、その結果ゲートリーク電流が増大する問題を回避することができない。

このような事情で従来より、比誘電率が熱酸化膜のものよりもはるかに大きく、
20 このため実際の膜厚が大きくても SiO_2 膜に換算した場合の膜厚が小さい Ta_2O_5 や Al_2O_3 、 ZrO_2 、 HfO_2 、さらには ZrSiO_4 あるいは HfSiO_4 のような高誘電体材料をゲート絶縁膜に対して適用することが提案されている。このような高誘電体材料を使うことにより、ゲート長が $0.1\mu\text{m}$ 以下と、非常に短い超高速半導体装置においても 10nm 程度の物理的膜厚のゲート絶縁膜を
25 使うことができ、トンネル効果によるゲートリーク電流を抑制することができる。

例えば、従来より Ta_2O_5 膜は $\text{Ta}(\text{OC}_2\text{H}_5)_5$ および O_2 を気相原料としたCVD法により形成できることが知られている。典型的な場合、CVDプロセスは減圧環境下、約 480°C 、あるいはそれ以上の温度で実行される。このようにして形成された Ta_2O_5 膜は、さらに酸素雰囲気中において熱処理され、その

結果、膜中の酸素欠損が解消され、また膜自体が結晶化する。このようにして結晶化された Ta_2O_5 膜は大きな比誘電率を示す。

5 チャネル領域中のキャリアモビリティを向上させる観点からは、高誘電体ゲート酸化膜とシリコン基板との間に、1 nm以下、好ましくは0.8 nm以下の厚さのきわめて薄いベース酸化膜を介在させるのが好ましい。ベース酸化膜は、非常に薄い必要があり、厚さが厚いと高誘電体膜をゲート絶縁膜に使った効果が相殺される。一方、かかる非常に薄いベース酸化膜は、シリコン基板表面を一様に覆う必要があり、また界面準位等の欠陥を形成しないことが要求される。

10 従来より、薄いゲート酸化膜はシリコン基板の急速熱酸化 (RTO) 処理 (例えば、特許文献1参照) により形成されるのが一般的であるが、熱酸化膜を所望の1 nm以下の厚さに形成しようとする、膜形成時の処理温度を低下させる必要がある。しかし、このように低温で形成された熱酸化膜は界面準位等の欠陥を含みやすく、高誘電体ゲート酸化膜のベース酸化膜としては不適當である。

15 図1は高誘電体ゲート絶縁膜を有する高速半導体装置10の概略的な構成を示す。

図1を参照するに、半導体装置10はシリコン基板11上に形成されており、シリコン基板11上には薄いベース酸化膜12を介して、 Ta_2O_5 , Al_2O_3 , ZrO_2 , HfO_2 , ZrSiO_4 , HfSiO_4 等の高誘電体ゲート絶縁膜13が形成され、さらに前記高誘電体ゲート絶縁膜13上にはゲート電極14が形成され
20 ている。

図1の半導体装置10では、前記ベース酸化膜層12の表面部分に、シリコン基板11とベース酸化膜12との間の界面の平坦性が保たれるような範囲で窒素 (N) がドーピングされ、酸窒化膜12Aが形成されている。シリコン酸化膜よりも比誘電率の大きい酸窒化膜12Aをベース酸化膜12中に形成することにより、
25 ベース酸化膜12の熱酸化膜換算膜厚をさらに減少させることが可能になる。

先にも説明したように、かかる高速半導体装置10では、前記ベース酸化膜12の厚さは可能な限り薄いのが好ましい。

しかし、ベース酸化膜12を1 nm以下、例えば0.8 nm以下、さらには2~3原子層に対応する0.4 nm前後の厚さで一様に、かつ安定に形成するのは、

従来より非常に困難であった。

また、ベース酸化膜 1 2 上に形成される高誘電体ゲート絶縁膜 1 3 の機能を発現させるためには、堆積した高誘電体膜 1 3 を熱処理により結晶化し、また酸素欠損補償を行う必要があるが、このような熱処理を高誘電体膜 1 3 に対して行った場合、ベース酸化膜 1 2 の膜厚が増大してしまい、高誘電体ゲート絶縁膜 1 3 を使うことによるゲート絶縁膜の実効的な膜厚の減少が、実質的に相殺されてしまっていた。

このような熱処理に伴うベース酸化膜 1 2 の膜厚の増大は、シリコン基板 1 1 とベース酸化膜 1 2 の界面における、酸素原子およびシリコン原子の相互拡散、およびこれに伴うシリケート遷移層の形成、あるいはシリコン基板中への酸素の侵入によるベース酸化膜 1 2 の成長の可能性を示唆している。このようなベース酸化膜 1 2 の熱処理に伴う膜厚増大の問題は、特にベース酸化膜 1 2 の膜厚が、ベース酸化膜として望ましい数原子層以下の膜厚まで低減された場合、非常に深刻な問題になる。

15

特許文献 1 特開平 5 - 4 7 6 8 7 号公報

発明の開示

本発明は、上記課題を解決した新規で有用な基板処理装置を提供することを目的とする。

20

本発明のより詳細な目的は、シリコン基板表面に非常に薄い、典型的には 2 ~ 3 原子層分の厚さの酸化膜を安定に形成し、さらにこれを窒化して酸窒化膜を形成することのできる基板処理装置を提供することにある。

さらに、本発明のより詳細な目的は、シリコン基板表面に非常に薄い、典型的には 2 ~ 3 原子層分の厚さの酸化膜を安定に形成し、さらにこれを安定に窒化できる基板処理装置を含んだ、クラスタ型の基板処理システムを提供することにある。

25

さらに、本発明の他の目的は、上記のような課題を解決すると共に、酸化膜の均一性やスループットの改善、及びコンタミネーションの防止を図るように構成

された基板処理装置を提供することを目的とする。

本発明は、上記目的を達成するため、以下のような特徴を有する。

5 本発明によれば、処理空間に挿入された被処理基板を所定温度に加熱するヒータ部が、石英により形成された透明ケースの内部に発熱体を収納させた構成であるので、発熱体によるコンタミネーションを防止すると共に、被処理基板の温度分布を均一に保ち、被処理基板の反りを抑制することができ、被処理基板の成膜処理を安定、且つ効率良く行えるので、生産性を高めることができる。

10 また、本発明によれば、処理容器の内部を減圧すると共に、透明ケースの内部空間を減圧することにより、透明ケースの内外圧力差を抑制でき、透明ケースに作用する力を軽減した分透明ケースの肉厚を薄くして発熱体からの熱伝導効率を高めることができる。

15 また、本発明によれば、透明ケースの上面に発熱体により加熱されるSiC製の加熱板を設け、加熱板の上面が保持部材に保持された被処理基板の下面に近接対向することにより、熱伝導が向上し、被処理基板を700°Cの温度に加熱できると共に、発熱体に温度差が生じにくくなって発熱体の割れを防止できる。

また、本発明によれば、発熱体が第1のSiC発熱部または第2、3のSiC発熱部を有し、第1のSiC発熱部または第2、3のSiC発熱部の何れか一方、あるいは両方への電源供給を選択的に切り替えることにより、被処理基板の周縁部が反らないように安定的に加熱することができる。

20 また、本発明によれば、発熱体の下方に熱反射部材を設けることにより、被処理基板の全面を効率良く均一に加熱することができる。

図面の簡単な説明

図1は、高誘電体ゲート絶縁膜を有する半導体装置装置の構成を示す図である。

25 図2は、本発明になる基板処理装置の一実施例の構成を示す正面図である。

図3は、本発明になる基板処理装置の一実施例の構成を示す側面図である。

図4は、図2中A-A線に沿う横断面図である。

図5は、処理容器22の下方に配置された機器の構成を示す正面図である。

図6は、処理容器22の下方に配置された機器の構成を示す平面図である。

図 7 は、処理容器 2 2 の下方に配置された機器の構成を示す側面図である。

図 8 A は排気経路 3 2 の構成を示す平面図である。

図 8 B は排気経路 3 2 の構成を示す正面図である。

図 8 C は B - B 線に沿う縦断面図である。

5 図 9 は、処理容器 2 2 及びその周辺機器を拡大して示す側面縦断面図である。

図 1 0 は、蓋部材 8 2 を外した処理容器 2 2 の内部を上方からみた平面図である。

図 1 1 は、処理容器 2 2 の平面図である。

図 1 2 は、処理容器 2 2 の正面図である。

10 図 1 3 は、処理容器 2 2 の底面図である。

図 1 4 は、図 1 2 中 C - C 線に沿う縦断面図である。

図 1 5 は、処理容器 2 2 の右側面図である。

図 1 6 は、処理容器 2 2 の左側面図である。

図 1 7 は、紫外線光源 8 6, 8 7 の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

15 図 1 8 は、ガス噴射ノズル部 9 3 の構成を拡大して示す縦断面図である。

図 1 9 は、ガス噴射ノズル部 9 3 の構成を拡大して示す横断面図である。

図 2 0 は、ガス噴射ノズル部 9 3 の構成を拡大して示す正面図である。

図 2 1 は、ヒータ部 2 4 の構成を拡大して示す縦断面図である。

図 2 2 は、ヒータ部 2 4 を拡大して示す底面図である。

20 図 2 3 は、第 2 の流入口 1 7 0 及び第 2 の流出口 1 7 4 の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

図 2 4 は、フランジ 1 4 0 の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

図 2 5 は、クランプ機構 1 9 0 の上端部の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

25 図 2 6 は、S i C ヒータ 1 1 4 及び S i C ヒータ 1 1 4 の制御系の構成を示す図である。

図 2 7 A は、石英ベルジャ 1 1 2 の構成を示す平面図である。

図 2 7 B は、石英ベルジャ 1 1 2 の構成を示す縦断面図である。

図 2 8 A は、石英ベルジャ 1 1 2 の構成を上方からみた斜視図である。

図 28 B は、石英ベルジャ 112 の構成を下方からみた斜視図である。

図 29 は、減圧システムの排気系統の構成を示す系統図である。

図 30 A は、保持部材 120 の構成を示す平面図である。

図 30 B は、保持部材 120 の構成を示す平面図である。

- 5 図 31 は、ヒータ部 24 の下方に配置された回転駆動部 28 の構成を示す縦断面図である。

図 32 は、回転駆動部 28 を拡大して示す縦断面図である。

図 33 A は、ホルダ冷却機構 234 の構成を示す横断面図である。

図 33 B は、ホルダ冷却機構 234 の構成を示す側面図である。

- 10 図 34 は、回転位置検出機構 232 の構成を示す横断面図である。

図 35 A は、回転位置検出機構 232 の非検出状態を示す図である。

図 35 B は、回転位置検出機構 232 の検出状態を示す図である。

図 36 A は、回転位置検出機構 232 の受光素子 268 の出力信号 S を示す波形図である。

- 15 図 36 B は、回転位置判定回路 270 から出力されるパルス信号 P の波形図である。

図 37 は、制御回路が実行する回転位置制御処理を説明するためのフローチャートである。

図 38 は、窓 75、76 の取付箇所を上方からみた横断面図である。

- 20 図 39 は、窓 75 を拡大して示す横断面図である。

図 40 は、窓 76 を拡大して示す横断面図である。

図 41 A は、下部ケース 102 の構成を示す平面図である。

図 41 B は、下部ケース 102 の構成を示す側面図である。

図 42 A は、側面ケース 104 の構成を示す平面図である。

- 25 図 42 B は、側面ケース 104 の構成を示す正面図である。

図 42 C は、側面ケース 104 の構成を示す背面図である。

図 42 D は、側面ケース 104 の構成を示す左側面図である。

図 42 E は、側面ケース 104 の構成を示す右側面図である。

図 43 A は、上部ケース 106 の構成を示す底面図である。

- 図43Bは、上部ケース106の構成を示す側面図である。
- 図44Aは、円筒状ケース108の構成を示す平面図である。
- 図44Bは、円筒状ケース108の構成を示す側面縦断面図である。
- 図44Cは、円筒状ケース108の構成を示す側面図である。
- 5 図45は、リフト機構30を拡大して示す縦断面図である。
- 図46は、リフト機構30のシール構造拡大して示す縦断面図である。
- 図47Aは、図2の基板処理装置20を使って被処理基板Wのラジカル酸化を行う場合を示す側面図および平面図である。
- 図47Bは図47Aの構成を示す平面図である。
- 10 図48は、基板処理装置20を使って行なわれる基板の酸化処理工程を示す図である。
- 図49は、本発明で使われるXPSによる膜厚測定方法を示す図である。
- 図50は、本発明で使われるXPSによる膜厚測定方法を示す別の図である。
- 図51は、基板処理装置20により酸化膜を形成する際に観測される酸化膜厚
- 15 成長の停留現象を概略的に示す図である。
- 図52Aは、シリコン基板表面における酸化膜形成過程1を示す図である。
- 図52Bは、シリコン基板表面における酸化膜形成過程2を示す図である。
- 図53は、本発明の第1実施例において得られた酸化膜のリーク電流特性を示す図である。
- 20 図54Aは、図53のリーク電流特性の原因を説明する図である。
- 図54Bは、図53のリーク電流特性の原因を説明する図である。
- 図55Aは、基板処理装置20において生じる酸化膜形成工程1を示す図である。
- 図55Bは、基板処理装置20において生じる酸化膜形成工程2を示す図であ
- 25 る。
- 図55Cは、基板処理装置20において生じる酸化膜形成工程3を示す図である。
- 図56は、基板処理装置20において使われるリモートプラズマ源の構成を示す図である。

図57は、RFリモートプラズマとマイクロ波プラズマの特性を比較する図である。

図58は、RFリモートプラズマとマイクロ波プラズマの特性を比較する別の図である。

- 5 図59Aは、基板処理装置20を使って行われる酸化膜の窒化処理を示す側面図である。

図59Bは、基板処理装置20を使って行われる酸化膜の窒化処理を示す平面図である。

- 10 図60Aは、基板処理装置20によりSi基板上に熱酸化処理により2.0nmの厚さに形成された酸化膜を、リモートプラズマ部27を使って、表2に示す条件で窒化した場合の前記酸化膜中における窒素濃度分布を示し図である。

図60Bは、同じ酸化膜中における窒素濃度分布と酸素濃度分布との関係を示す図である。

図61は、本発明で使われるXPSの概略を示す図である。

- 15 図62は、酸化膜のリモートプラズマによる窒化時間と膜中窒素濃度との関係を示す図である。

図63は、酸化膜の窒化時間と、窒素の膜内分布との関係を示す図である。

図64は、酸化膜の窒化処理により形成された酸窒化膜のウェハごとの膜厚変動を示す図である。

- 20 図65は、本実施例による酸化膜の窒化処理に伴う膜厚増を示す図である。

発明の実施をするための最良の形態

以下図面と共に本発明の実施の形態について説明する。

- 25 図2は本発明になる基板処理装置の一実施例の構成を示す正面図である。図3は本発明になる基板処理装置の一実施例の構成を示す側面図である。図4は図2中A-A線に沿う横断面図である。

図2乃至図4に示されるように、基板処理装置20は、後述するように、シリコン基板の紫外光ラジカル酸化処理と、かかる紫外光ラジカル酸化処理により形成された酸化膜の高周波リモートプラズマを使ったラジカル窒化処理とを、連続

して行うことができるように構成されている。

基板処理装置 20 の主要構成は、内部に処理空間が画成された処理容器 22 と、
処理容器 22 の内部に挿入された被処理基板（シリコン基板）を所定温度に加熱
するヒータ部 24 と、処理容器 22 の上部に搭載された紫外線照射部 26 と、窒
素ラジカルを供給するリモートプラズマ部 27 と、被処理基板を回転させる回転
駆動部 28 と、処理空間に挿入された被処理基板を昇降させるリフト機構 30 と、
処理容器 22 の内部を減圧するための排気経路 32 と、処理容器 22 の内部にガ
ス（窒素ガス、酸素ガス等のプロセスガス）を供給するためのガス供給部 34 と
からなる。

また、基板処理装置 20 は、上記各主要構成部を支持するためのフレーム 36
を有する。フレーム 36 は、鉄骨を立体的に組み合わせたものであり、床面に載
置される台形状の底部フレーム 38 と、底部フレーム 38 の後部より垂直方向に
起立された垂直フレーム 40、41 と、垂直フレーム 40 の中間部より水平方向
に延在するように横架された中間フレーム 42 と、垂直フレーム 40、41 の上
端部より水平方向に横架された上部フレーム 44 とから構成されている。

底部フレーム 38 には、冷却水供給部 46、電磁弁からなる排気用バルブ 48
a、48 b、ターボ分子ポンプ 50、真空管路 51、紫外線照射部 26 の電源ユ
ニット 52、リフト機構 30 の駆動部 136、ガス供給部 34 などが搭載されて
いる。

垂直フレーム 40 の内部には、各種ケーブルが挿通されるケーブルダクト 40
a が形成されている。また、垂直フレーム 41 の内部には、排気ダクト 41 a が
形成されている。さらに、垂直フレーム 40 の中間部に固定されたブラケット 5
8 には、緊急停止スイッチ 60 が取り付けられ、垂直フレーム 41 の中間部に固
定されたブラケット 62 には、冷却水による温度調整を行う温度調整器 64 が取
り付けられている。

中間フレーム 42 には、上記処理容器 22、紫外線照射部 26、リモートプラ
ズマ部 27、回転駆動部 28、リフト機構 30、UV ランプコントローラ 57 が
支持されている。また、上部フレーム 44 には、ガス供給部 34 から引き出され
た複数のガス管路 58 が連通されたガスボックス 66、イオンゲージコントロー

ラ 68、圧力制御を行うAPCコントローラ70、ターボ分子ポンプ50を制御するTMPコントローラ72などが搭載されている。

図5は処理容器22の下方に配置された機器の構成を示す正面図である。図6は処理容器22の下方に配置された機器の構成を示す平面図である。図7は処理
5 容器22の下方に配置された機器の構成を示す側面図である。図8Aは排気経路32の構成を示す平面図、図8Bは排気経路32の構成を示す正面図、図8CはB-B線に沿う縦断面図である。

図5乃至図7に示されるように、処理容器22の後部下方には、処理容器22内部のガスを排気する排気経路32が設けられている。この排気経路32は、横
10 幅寸法が処理容器22の内部に形成された処理空間の横幅と略同一寸法に形成された長形状の排気口74と連通するように取り付けられている。

このように、排気口74が処理容器22内部の横幅寸法に応じた長さ延在形成されているため、処理容器22の前部22a側から内部に供給されたガスは、後述するように処理容器22の内部を通過して後方へ向かう流れとなり、一定流
15 速（層流）のまま排気経路32へ効率良く排気される。

図8A～図8Cに示されるように、排気経路32は、排気口74に連通される長形状の開口部32aと、開口部32aの左右側面が下方に向けてテーパ状に傾斜したテーパ部32bと、テーパ部32bの下端で通路面積が絞られた底部32cと、底部32cから前方に突出するL字状の主排気管32dと、主排気管32dの下端に開口する排出口32eと、テーパ部32bの下部32fに開口する
20 バイパス用排出口32gとを有する。排出口32eは、ターボ分子ポンプ50の吸気口に連通される。また、バイパス用排出口32gは、バイパス管路51aに連通される。

図5乃至図7に示されるように、処理容器22の排気口74から排出されたガスは、ターボ分子ポンプ50の吸引力により長形状に形成された開口部32aから流入してテーパ部32bを通過して底部32cに至り、主排気管32d及び排出口32eを介してターボ分子ポンプ50に導かれる。
25

ターボ分子ポンプ50の吐出管50aは、バルブ48aを介して真空管路51に連通されている。そのため、処理容器22の内部に充填されたガスは、バルブ

48aが開弁されると、ターボ分子ポンプ50を介して真空管路51へ排出される。また、排気経路32のバイパス用排出口32gには、バイパス管路51aが接続されており、このバイパス管路51aは、バルブ48bの開弁により真空管路51と連通される。

- 5 ここで、本発明の要部を構成する処理容器22及びその周辺機器の構成について説明する。

〔処理容器22の構成〕

図9は処理容器22及びその周辺機器を拡大して示す側面縦断面図である。図10は蓋部材82を外した処理容器22の内部を上方からみた平面図である。

- 10 図9及び図10に示されるように、処理容器22は、チャンバ80の上部開口を蓋部材82により閉塞する構成であり、内部がプロセス空間（処理空間）84になっている。

- 15 処理容器22は、前部22aにガスが供給される供給口22gが形成され、後部22bに搬送口94が形成されている。供給口22gには、後述するガス噴射ノズル部93が設けられ、搬送口94には後述するゲートバルブ96が連通される。

- 20 図11は処理容器22の平面図である。図12は処理容器22の正面図である。図13は処理容器22の底面図である。図14は図12中C-C線に沿う縦断面図である。図15は処理容器22の右側面図である。図16は処理容器22の左側面図である。

- 25 図11乃至図16に示されるように、処理容器22の底部22cには、ヒータ部24が挿入される開口73と、前述した長形状に開口した排気口74とが設けられている。排気口74には、前述した排気経路32が連通される。尚、チャンバ80及び蓋部材82は、例えば、アルミ合金を切削加工して上記のような形状に加工したものである。

また、処理容器22の右側面22eには、プロセス空間84を覗くための第1、第2の窓75、76と、プロセス空間84の温度を測定するためのセンサユニット77が取り付けられている。

本実施例では、右側面22eの中央より左側に楕円形に形成された第1の窓7

5が配置され、右側面22eの中央より右側に円形に形成された第2の窓76が配置されているので、両方向からプロセス空間84に保持された被処理基板Wの状態を直接目視することができるので、被処理基板Wの成膜状況などを観測するのに有利である。

- 5 尚、窓75、76は、熱電対などの温度測定器具を挿入する場合に処理容器22から外すことが可能な構成になっている。

また、処理容器22の左側面22dには、プロセス空間84の圧力を測定するためのセンサユニット85が取り付けられている。このセンサユニット85には、測定レンジの異なる3個の圧力計85a～85cが設けられており、プロセス空間84の圧力変化を高精度に測定することが可能である。

- 10 また、プロセス空間84を形成する処理容器22の内壁の四隅には、R形状に形成された湾曲部22hが設けられており、この湾曲部22hにより応力集中を回避すると共に、ガス噴射ノズル部93から噴射されたガス流が安定化するように作用する。

15 [紫外線照射部26の構成]

図8乃至図11に示されるように、紫外線照射部26は、蓋部材82の上面に取り付けられている。この紫外線照射部26の筐体26aの内部には、円筒状に形成された2本の紫外線光源(UVランプ)86、87が所定間隔で平行に配置されている。

- 20 この紫外線光源86、87は、波長が172nmの紫外線を発光する特性を有しており、蓋部材82に形成された横方向に延在形成された長形状の開口82a、82bを介してプロセス空間84に保持された被処理基板Wの上面に対向するようにプロセス空間84の前側半分(図8では左半分)の領域に紫外線を照射する位置に設けられている。

- 25 また、直線状に延在する紫外線光源86、87から被処理基板W上に照射される紫外線の強度分布は、一様ではなく、被処理基板Wの半径方向の位置によって変化しており、一方が被処理基板Wの外周側ほど減少し、他方が内周側ほど減少する。このように紫外線光源86、87は、単独では単調に変化する紫外線強度分布を被処理基板W上に形成するが、被処理基板Wに対する紫外線強度分布の変

化方向が逆になっている。

そのため、紫外線光源 8 6, 8 7 の駆動パワーを UV ランプコントローラ 5 7 の制御により最適化することにより、被処理基板 W 上に非常に一様な紫外線強度分布を実現することが可能になる。

- 5 尚、かかる駆動パワーの最適値は、紫外線光源 8 6, 8 7 への駆動出力を変化させて成膜結果を評価することで最適値を求めることができる。

また、被処理基板 W と紫外線光源 8 6, 8 7 の円筒形状の円筒芯の中心との距離は、例えば、50～300 mm に設定されており、望ましくは 100～200 mm 程度が良い。

- 10 図 1 7 は紫外線光源 8 6, 8 7 の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

図 1 7 に示されるように、紫外線光源 8 6, 8 7 は、紫外線照射部 2 6 の筐体 2 6 a の底部開口 2 6 b に対向する位置に保持されている。そして、底部開口 2 6 b は、プロセス空間 8 4 に保持された被処理基板 W の上面に対向する位置に開口すると共に、紫外線光源 8 6, 8 7 の全長よりも長い横幅寸法の長方形形状に形

- 15 成されている。

底部開口 2 6 b の周縁部 2 6 c には、透明な石英により形成された透明窓 8 8 が取り付けられている。透明窓 8 8 は、紫外線光源 8 6, 8 7 から照射された紫外線をプロセス空間 8 4 に透過する共に、プロセス空間 8 4 が減圧されたときの圧力差にも耐える強度を有している。

- 20 また、透明窓 8 8 の下面周縁部には、底部開口 2 6 b の周縁部 2 6 c の溝内に装着されたシール部材（Oリング）8 9 が当接するシール面 8 8 a が形成されている。このシール面 8 8 a は、シール部材 8 9 を保護するためのコーティングまたは黒石英により形成されている。これにより、シール部材 8 9 の材質が分解せず、劣化を防止してシール性能を確保すると共に、シール部材 8 9 の材質がプロセス空間 8 4 に侵入することを防止する。
- 25

また、透明窓 8 8 の上面周縁部には、ステンレス製のカバー 8 8 b が当接しており、透明窓 8 8 を締結部材 9 1 により挟持する際の強度を高めることで、締結時の押圧力により透明窓 8 8 が破損することを防止する。

また、本実施例では、紫外線光源 8 6, 8 7 及び透明窓 8 8 がガス噴射ノズル

部 9 3 から噴射されたガス流の流れ方向に対して直交する方向に延在するように設けたが、これに限らず、例えば、紫外線光源 8 6, 8 7 及び透明窓 8 8 をガス流の流れ方向に延在する方向に設けるようにしても良い。

〔ガス噴射ノズル部 9 3 の構成〕

- 5 図 9 及び図 1 0 に示されるように、処理容器 2 2 は、前部 2 2 a に開口する供給口 2 2 g に窒素ガスまたは酸素ガスをプロセス空間 8 4 内部に噴射するガス噴射ノズル部 9 3 が設けられている。このガス噴射ノズル部 9 3 は、後述するようにプロセス空間 8 4 の横幅方向に複数の噴射口 9 3 a が一列に配置されており、複数の噴射口 9 3 a から噴射されたガスが層流状態で被処理基板 W の表面を通過
- 10 するようにプロセス空間 8 4 の内部に安定した流れを発生させる。

尚、プロセス空間 8 4 を閉塞する蓋部材 8 2 の下面と被処理基板 W との距離は、例えば、5 ～ 1 0 0 mm に設定されており、望ましくは 2 5 ～ 8 5 mm 程度が良い。

〔ヒータ部 2 4 の構成〕

- 15 図 9 及び図 1 0 に示されるように、ヒータ部 2 4 は、アルミ合金製のベース 1 1 0 と、ベース 1 1 0 上に固定された透明な石英ベルジャ 1 1 2 と、石英ベルジャ 1 1 2 の内部空間 1 1 3 に収納された S i C ヒータ 1 1 4 と、不透明石英により形成された熱反射部材（リフレクタ） 1 1 6 と、石英ベルジャ 1 1 2 の上面に載置され S i C ヒータ 1 1 4 により加熱される S i C サセプタ（加熱部材） 1 1
- 20 8 と、を備えた構成である。

- そのため、S i C ヒータ 1 1 4 及び熱反射部材 1 1 6 は、石英ベルジャ 1 1 2 の内部空間 1 1 3 に隔離されており、プロセス空間 8 4 でのコンタミネーションが防止される。また、洗浄工程においては、プロセス空間 8 4 内に露出された S i C サセプタ 1 1 8 のみを洗浄すれば良いので、S i C ヒータ 1 1 4 及び熱反射
- 25 部材 1 1 6 を洗浄する手間を省略することが可能になる。

被処理基板 W は、保持部材 1 2 0 により S i C サセプタ 1 1 8 の上方に対向するように保持される。一方、S i C ヒータ 1 1 4 は、熱反射部材 1 1 6 の上面に載置されており、S i C ヒータ 1 1 4 の発熱は、S i C サセプタ 1 1 8 に放射されると共に、熱反射部材 1 1 6 で反射された熱も S i C サセプタ 1 1 8 に放射さ

れる。尚、本実施例のSiCヒータ114は、SiCサセプタ118から僅かに離間した状態で約700°Cの温度に加熱される。

- SiCサセプタ118は、熱伝導率が良いので、SiCヒータ114からの熱を被処理基板Wに効率良く伝達して被処理基板Wが周縁部分と中心部分との温度差を無くして、被処理基板Wが温度差で反ることを防止する。

〔回転駆動部28の構成〕

- 図9及び図10に示されるように、回転駆動部28は、SiCサセプタ118の上方で被処理基板Wを保持する保持部材120と、上記ベース110の下面に固定されたケーシング122と、ケーシング122により画成された内部空間124内で保持部材120の軸120dに結合されたセラミック軸126を回転駆動させるモータ128と、モータ128の回転を伝達するためのマグネットカップリング130とから構成されている。

- 回転駆動部28においては、保持部材120の軸120dが石英ベルジャ112を貫通してセラミック軸126に結合され、セラミック軸126とモータ128の回転軸との間がマグネットカップリング130を介して非接触で駆動力を伝達する構成であるので、回転駆動系の構成がコンパクトになっており、装置全体の小型化にも寄与している。

- 保持部材120は、軸120dの上端より水平方向に放射状（周方向に120度間隔）に延在する腕部120a～120cを有する。被処理基板Wは、保持部材120の腕部120a～120cに載置された状態で保持される。このように保持された被処理基板Wは、保持部材120と共にモータ128により一定の回転速度で回転されており、これによりSiCヒータ114の発熱による温度分布が平均化されると共に、紫外線光源86、87から照射される紫外線の強度分布が均一になり、表面に均一な成膜が施される。

- #### 〔リフタ機構30の構成〕

図9及び図10に示されるように、リフタ機構30は、チャンバ80の下方、且つ石英ベルジャ112の側方に設けられ、チャンバ80内に挿入された昇降アーム132と、昇降アーム132に連結された昇降軸134と、昇降軸134を昇降させる駆動部136とから構成されている。昇降アーム132は、例えば、

セラミックまたは石英により形成されており、図10に示されるように、昇降軸134の上端が結合された結合部132aと、SiCサセプタ118の外周を囲む環状部132bとを有する。そして、昇降アーム132には、環状部132bの内周より中心に延在する3本の当接ピン138a～138cが周方向に120度間隔で設けられている。

当接ピン138a～138cは、SiCサセプタ118の外周から中心に向かって延在形成された溝118a～118cに嵌合する位置に降下しており、昇降アーム132が上昇することによりSiCサセプタ118の上方に移動する。また、当接ピン138a～138cは、SiCサセプタ118の中心より外周側に延在するように形成された保持部材120の腕部120a～120cと干渉しないように配置されている。

昇降アーム132は、搬送ロボット98のロボットハンドが被処理基板Wを取り出す直前に上記当接ピン138a～138cを被処理基板Wの下面に当接させて被処理基板Wを保持部材120の腕部120a～120cより持ち上げる。これにより、搬送ロボット98のロボットハンドは、被処理基板Wの下方に移動することが可能になり、昇降アーム132が降下することで被処理基板Wを保持して搬送することが可能になる。

〔石英ライナ100の構成〕

図9及び図10に示されるように、処理容器22の内部には、紫外線を遮断するため、例えば白色などの不透明石英により形成された石英ライナ100が装着されている。また、石英ライナ100は、後述するように下部ケース102と、側面ケース104と、上部ケース106と、石英ベルジャ112の外周を覆う円筒状ケース108とを組み合わせた構成になっている。

この石英ライナ100は、プロセス空間84を形成する処理容器22及び蓋部材82の内壁を覆うことにより、処理容器22及び蓋部材82の熱膨張を防止する断熱効果が得られると共に、処理容器22及び蓋部材82の内壁が紫外線によって酸化することを防止し、且つ金属のコンタミネーションを防止する役目を有している。

〔リモートプラズマ部27の構成〕

図9及び図10に示されるように、プロセス空間84に窒素ラジカルを供給するリモートプラズマ部27は、処理容器22の前部22aに取り付けられており、供給管路90を介して処理容器22の供給口92に連通されている。

- 5 このリモートプラズマ部27では、Arなどの不活性ガスと共に窒素ガスが供給され、これをプラズマにより活性化することにより、窒素ラジカルを形成することが可能である。このようにして形成された窒素ラジカルは、被処理基板Wの表面に沿って流れ、基板表面を窒化する。

また、窒素ガスの他に、 O_2 、NO、 N_2O 、 NO_2 、 NH_3 ガス等を用いた酸化、酸窒化ラジカルプロセスも実施可能である。

10 [ゲートバルブ96の構成]

図9及び図10に示されるように、処理容器22の後部には、被処理基板Wを搬送するための搬送口94が設けられている。この搬送口94は、ゲートバルブ96により閉塞されており、被処理基板Wを搬送するときのみゲートバルブ96の開動作により開放される。

- 15 ゲートバルブ96の後方には、搬送ロボット98が設けられている。そして、ゲートバルブ96の開動作に合わせて搬送ロボット98のロボットハンドが搬送口94よりプロセス空間84内部に進入して被処理基板Wの交換作業を行う。

[上記各構成部の詳細]

(1) ここで、上記ガス噴射ノズル部93の構成について詳細に説明する。

- 20 図18はガス噴射ノズル部93の構成を拡大して示す縦断面図である。図19はガス噴射ノズル部93の構成を拡大して示す横断面図である。図20はガス噴射ノズル部93の構成を拡大して示す正面図である。

- 図18乃至図20に示されるように、ガス噴射ノズル部93は、前面中央に上記リモートプラズマ部27の供給管路90が連通される連通孔92を有し、連通孔92の上方に複数の噴射孔93a₁～93a_nが横方向に一行に配設されたノズル板93b₁～93b₃が取り付けられている。噴射孔93a₁～93a_nは、例えば、直径1mmの小孔であり、10mm間隔で設けられている。

また、本実施例では、小孔からなる噴射孔93a₁～93a_nを設けたが、これに限らず、例えば、細いスリットを噴射孔として設ける構成としても良い。

また、ノズル板 93 b₁ ~ 93 b₃ は、ガス噴射ノズル部 93 の壁面に締結されている。そのため、噴射孔 93 a₁ ~ 93 a_n から噴射されたガスは、ガス噴射ノズル部 93 の壁面より前方に流れる。

例えば、噴射孔 93 a₁ ~ 93 a_n がパイプ状のノズル管路に設けられている場合
5 合には、噴射孔 93 a₁ ~ 93 a_n から噴射されたガスの一部がノズル管路の後方に回り込むような流れが生じてしまい、プロセス空間 84 内にガス溜まりが発生して被処理基板 W 周辺のガス流が安定しないという問題が生じる。

しかしながら、本実施例では、噴射孔 93 a₁ ~ 93 a_n がガス噴射ノズル部 93 の壁面に形成される構成であるので、このようなガスがノズル後方に戻るとい
10 う現象が発生せず、被処理基板 W 周辺のガス流を安定した層流状態に保つことが可能になる。これにより、被処理基板 W 上の成膜が均一に形成される。

また、各ノズル板 93 b₁ ~ 93 b₃ に対向する内壁には、ガス溜まりとして機能する凹部 93 c₁ ~ 93 c₃ が形成されている。この凹部 93 c₁ ~ 93 c₃ が噴
15 射孔 93 a₁ ~ 93 a_n の上流に設けられているので、各噴射孔 93 a₁ ~ 93 a_n から噴射されるガスの夫々の流速を平均化にすることができる。これにより、プロセス空間 84 の全域における流速を平均化することが可能になる。

さらに、各凹部 93 c₁ ~ 93 c₃ は、ガス噴射ノズル部 93 を貫通するガス供給孔 93 d₁ ~ 93 d₃ が連通されている。尚、中央のガス供給孔 93 d₂ は、連
20 通孔 92 と交差しないように横方向にずらした位置に形成されており、クランク形状に曲げられている。

そして、中央のガス供給孔 93 d₂ には、第 1 のマスフローコントローラ 97 a によって流量制御されたガスがガス供給管路 99₂ を介して供給される。また、
25 ガス供給孔 93 d₂ の左右に配置されたガス供給孔 93 d₁, 93 d₃ には、第 2 のマスフローコントローラ 97 b によって流量制御されたガスがガス供給管路 99₁, 99₃ を介して供給される。

また、第 1 のマスフローコントローラ 97 a 及び第 2 のマスフローコントローラ 97 b は、ガス供給管路 99₄, 99₅ を介してガス供給部 34 と接続されており、ガス供給部 34 から供給されるガスの流量を予め設定された流量に制御する。

第 1 のマスフローコントローラ 97 a 及び第 2 のマスフローコントローラ 97

bから供給されたガスは、ガス供給管路99₁～99₃を介してガス供給孔93d₁～93d₃に至り、各凹部93c₁～93c₃に充填された後、噴射孔93a₁～93a_nからプロセス空間84に向けて噴射される。

5 プロセス空間84内のガスは、処理容器22の前部22aの横幅方向に延在する各ノズル板93b₁～93b₃の噴射孔93a₁～93a_nからプロセス空間84の全幅に向かって噴射されるため、プロセス空間84の全域で一定流速（層流）で処理容器22の後部22b側へ流れる。

さらに、処理容器22の後部22b側には、後部22bの横幅方向に延在する長形状の排気口74が開口しているため、プロセス空間84内のガスは、後方
10 へ向かう流れとなり、一定流速（層流）のまま排気経路32へ排気される。

また、本実施例においては、2系統の流量制御が可能であるので、例えば、第1のマスフローコントローラ97aと第2のマスフローコントローラ97bとで異なる流量制御することも可能である。

これにより、プロセス空間84内に供給されるガスの流量（流速）を異なるよ
15 うに設定してプロセス空間84内におけるガスの濃度分布を変化させることも可能である。さらには、第1のマスフローコントローラ97aと第2のマスフローコントローラ97bとで異なる種類のガスを供給することもでき、例えば、第1のマスフローコントローラ97aにより窒素ガスの流量制御を行い、第2のマス
フローコントローラ97bにより酸素ガスの流量制御を行うことも可能である。

20 使用ガスとしては、例えば、酸素含有ガス、窒素含有ガス、並びに希ガス等が挙げられる。

（2）ここで、ヒータ部24の構成について詳細に説明する。

図21はヒータ部24の構成を拡大して示す縦断面図である。図22はヒータ部24を拡大して示す底面図である。

25 図21及び図22に示されるように、ヒータ部24は、アルミ合金製のベース110に石英ベルジャ112を載置し、処理容器22の底部22cにフランジ140を介して固定される。そして、石英ベルジャ112の内部空間113には、SiCヒータ114及び熱反射部材116が収納される。そのため、SiCヒータ114及び熱反射部材116は、処理容器22のプロセス空間84から隔離さ

れており、プロセス空間 84 のガスと接触せず、コンタミネーションが生じない構成になっている。

5 SiC サセプタ 118 は、SiC ヒータ 114 と対向するように石英ベルジャ 112 上に載置されており、パイロメータ 119 によって温度が測定される。このパイロメータ 119 は、SiC サセプタ 118 が加熱されるのに伴って生じる焦電効果（パイロ電気効果）により SiC サセプタ 118 の温度を測定するものであり、制御回路では、パイロメータ 119 により検出された温度信号から被処理基板 W の温度を推測し、この推測温度に基づいて SiC ヒータ 114 の発熱量を制御する。

10 また、石英ベルジャ 112 の内部空間 113 は、後述するように処理容器 22 のプロセス空間 84 を減圧するとき、プロセス空間 84 との圧力差が小さくなるように減圧システムが作動して同時に減圧される。そのため、石英ベルジャ 112 は、減圧工程時の圧力差を考慮して肉厚（例えば 30 mm 程度）にする必要がなく、熱容量が小さくて済み、その分加熱時の応答性を高められる。

15 ベース 110 は、円盤状に形成されており、中央に保持部材 120 の軸 120d が挿通される中央孔 142 を有し、内部には周方向に延在形成された冷却水用の第 1 の水路 144 が設けられている。ベース 110 は、アルミ合金製であるので、熱膨張率が大きいですが、第 1 の水路 144 に冷却水を流すことにより、冷却される。

20 また、フランジ 140 は、ベース 110 と処理容器 22 の底部 22c との間に介在する第 1 のフランジ 146 と、第 1 のフランジ 146 の内周に嵌合する第 2 のフランジ 148 とを組み合わせた構成である。第 1 のフランジ 146 の内周面には、周方向に延在形成された冷却水用の第 2 の水路 150 が設けられている。

上冷却水供給部 46 から供給された冷却水は、上記水路 144 及び 150 を流
25 れることにより、SiC ヒータ 114 の発熱により加熱されたベース 110 及びフランジ 140 を冷却してベース 110 及びフランジ 140 の熱膨張を抑える。

また、ベース 110 の下面には、水路 144 に冷却水を流入させる第 1 の流入管路 152 が連通される第 1 の流入口 154 と、水路 144 を通過した冷却水を排出する流出管路 156 が連通される第 1 の流出口 158 とが設けられている。

さらに、ベース110の下面の外周近傍には、第1のフランジ146に締結されるボルト160を挿通するための取付孔162が周方向に複数（例えば、8～12箇所程度）設けられている。

また、ベース110下面の半径方向上の中間位置付近には、SiCヒータ114の温度を測定するための熱電対からなる温度センサ164と、SiCヒータ114に電源を供給するための電源ケーブル接続用端子（ソルトン端子）166a～166fが設けられている。尚、SiCヒータ114には、3つの領域が形成されており、電源ケーブル接続用端子166a～166fは各領域に電源を供給する+側端子、-側端子として設けられている。

10 また、フランジ140の下面には、水路150に冷却水を流入させる第2の流入管路168が連通される第2の流入口170と、水路150を通過した冷却水を排出する流出管路172が連通される第2の流出口174とが設けられている。

図23は第2の流入口170及び第2の流出口174の取付構造を拡大して示す縦断面図である。図24はフランジ140の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

図23に示されるように、第1のフランジ146には、第2の流入口170が連通されたL字状の連通孔146aが設けられている。この連通孔146aの端部は、水路150に連通されている。また、第2の流出口174も上記第2の流入口170と同様な構成で水路150に連通されている。

20 水路150は、フランジ140の内部に周方向に延在形成されているため、フランジ140を冷却することにより、第1のフランジ146の段部146bとベース110との間で挟持された石英ベルジャ112の鍔部112aの温度も間接的に冷却している。これにより、石英ベルジャ112の鍔部112aが半径方向に熱膨張することを抑制することができる。

25 図23及び図24に示されるように、石英ベルジャ112の鍔部112aの下面には、複数の位置決め孔178が周方向に所定間隔毎に設けられている。この位置決め孔178は、ベース110の上面に螺入されたピン176が嵌合する孔であるが、熱膨張率の大きいベース110が半径方向に熱膨張したときに鍔部112aに負荷がかからないようにピン176の外径よりも大径に形成されている。

すなわち、ピン176と位置決め孔178とのクリアランス分だけ石英ベルジャ112の鍔部112aに対するベース110の熱膨張が許容される。

- また、石英ベルジャ112の鍔部112aは、第1のフランジ146の段部146bに対して半径方向のクリアランスが設けられているので、この点からもこのクリアランス分だけベース110の熱膨張が許容される。

石英ベルジャ112の鍔部112aの下面は、ベース110の上面に装着されたシール部材（Oリング）180によってシールされ、石英ベルジャ112の鍔部112aの上面は、第1のフランジ146に装着されたシール部材（Oリング）182によってシールされる。

- さらに、第1のフランジ146及び第2のフランジ148の上面は、処理容器22の底部22cに装着されたシール部材（Oリング）184、186によってシールされる。また、第2のフランジ148の下面は、ベース110の上面に装着されたシール部材（Oリング）188によってシールされる。

- このように、ベース110とフランジ140との間、及びフランジ140と処理容器22の底部22cとの間には、夫々2重シール構造になっており、どれか一つのシール部材が破損しても他のシール部材によってシールすることができるので、処理容器22とヒータ部24との間のシール構造に対する信頼性がより高められている。

- 例えば、石英ベルジャ112が割れた場合、あるいは鍔部112aにひび割れが生じた場合、鍔部112aよりも外側に配置されたシール部材180によって石英ベルジャ112内部の気密性が確保され、処理容器22内のガスが外部に流出することが阻止される。

- あるいは、ヒータ部24に近い方のシール部材180、182が劣化した場合でも、ヒータ部24よりも離れた位置に装着された外側のシール部材186、188によって処理容器22とベース110との間のシール性能が維持されるため、経年変化によるガス漏れも防止できる。

図21に示されるように、SiCヒータ114は、石英ベルジャ112の内部空間113において、熱反射部材116の上面に載置されており、且つベース110の上面に起立する複数のクランプ機構190によって所定高さに保持されて

いる。

このクランプ機構190は、熱反射部材116の下面に当接する外筒190aと、外筒190aを貫通してSiCヒータ114の上面に当接する軸190bと、軸190bに対して外筒190aを押圧するコイルバネ192とを有する。

- 5 そして、クランプ機構190は、コイルバネ192のバネ力でSiCヒータ114及び熱反射部材116を挟持する構成になっているため、例えば、運搬時の振動が入力された場合でもSiCヒータ114及び熱反射部材116が石英ベルジャ112に接触しないように保持することが可能になる。また、上記コイルバネ192のバネ力が常に作用することで、熱膨張によるネジのゆるみも防止され
- 10 ており、SiCヒータ114及び熱反射部材116はがたつきの無い安定状態に保持される。

- また、各クランプ機構190は、ベース110に対してSiCヒータ114及び熱反射部材116の高さ位置を任意の位置に調整できるように構成されており、複数のクランプ機構190の高さ位置調整によってSiCヒータ114及び熱反
- 15 射部材116の水平に保持することが可能になる。

さらに、石英ベルジャ112の内部空間113には、SiCヒータ114の各端子とベース110に挿通された電源ケーブル接続用端子166a～166fとを電氣的に接続するための接続部材194a～194f（但し、図21には接続部材194a、194cが図示してある）取り付けられている。

- 20 図25はクランプ機構190の上端部の取付構造を拡大して示す縦断面図である。

- 図25に示されるように、クランプ機構190は、熱反射部材116の挿通孔116a及びSiCヒータ114の挿通孔114eに挿通された軸190bの上端に螺入されたナット193を締め付けることで、ワッシャ195を介してL字
- 25 状ワッシャ197、199を軸方向に押圧してSiCヒータ114を挟持する。

SiCヒータ114は、挿通孔114eにL字状ワッシャ197、199の円筒部197a、199aが挿入され、円筒部197a、199a内にクランプ機構190の軸190bが挿通される。そして、L字状ワッシャ197、199の錨部197b、199bがSiCヒータ114の上面、下面に当接する。

クランプ機構190の軸190bは、上記コイルバネ192のバネ力により下方に付勢され、且つクランプ機構190の外筒190aは、上記コイルバネ192のバネ力により上方に付勢されている。このように、コイルバネ192のバネ力がクランプ力として作用するため、熱反射部材116及びSiCヒータ114は、安定的に保持され、運搬時の振動による破損が防止される。

SiCヒータ114の挿通孔114eは、L字状ワッシャ197a, 197bの円筒部197c、197dよりも大径であり、クリアランスが設けられている。そのため、SiCヒータ114の発熱によって生じる熱膨張により挿通孔114eと軸190bとの位置が相対変位した場合、挿通孔114eはL字状ワッシャ197, 199の鐳部197b, 199bに当接したまま水平方向にずれることが可能になり、熱膨張に伴う応力の発生が防止される。

(3) ここで、SiCヒータ114について説明する。

図26に示されるように、SiCヒータ114は、中心部に円形状に形成された第1の発熱部114aと、第1の発熱部114aの外周を囲むように円弧状に形成された第2、第3の発熱部114b, 114cとから構成されている。また、SiCヒータ114の中心には、保持部材120の軸120dが挿通される挿通孔114dが設けられている。

発熱部114a~114cは、夫々ヒータ制御回路196に並列に接続されており、温度調整器198によって設定された任意の温度に制御される。ヒータ制御回路196では、電源200から発熱部114a~114cに供給される電圧を制御することによりSiCヒータ114から放射される発熱量を制御する。

また、発熱部114a~114cによって容量が異なると、電源200の負担が増大するため、本実施例では、各発熱部114a~114cの容量(2KW)が同一になるように抵抗が設定されている。

ヒータ制御回路196は、発熱部114a~114cを同時に通電して発熱させる制御方法Iと、被処理基板Wの温度分布状況に応じて中心の第1の発熱部114aあるいは外側の第2、第3の発熱部114b, 114cの何れか一方を発熱させる制御方法IIと、被処理基板Wの温度変化に応じて発熱部114a~114cを同時に発熱させたり、第1の発熱部114aあるいは第2、第3の発熱部

114b, 114cの何れかを発熱させたりする制御方法IIIを選択することができる。

被処理基板Wは、上記保持部材120により保持された状態で回転しながら各発熱部114a～114cの発熱により加熱される際、外周側と中心部分との温度差によって周縁部分が上方に反ることがある。しかしながら、本実施例では、
5 SiCヒータ114は、熱伝導率が良いSiCサセプタ118を介して被処理基板Wを加熱するため、被処理基板Wの全体がSiCヒータ114からの熱で加熱され、被処理基板Wの周縁部分と中心部分との温度差を小さく抑えられて、被処理基板Wが反ることを防止する。

10 (4) ここで、石英ベルジャ112の構成について詳細に説明する。

図27Aは石英ベルジャ112の構成を示す平面図であり、図27Bは石英ベルジャ112の構成を示す縦断面図である。図28Aは石英ベルジャ112の構成を上方からみた斜視図であり、図28Bは石英ベルジャ112の構成を下方からみた斜視図である。

15 図27A、図27B及び図28A、図28Bに示されるように、石英ベルジャ112は、透明な石英により形成されており、前述した鏝部112aの上方に形成された円筒部112bと、円筒部112bの上方を覆う天板112cと、天板112cの中央より下方に延在する中空部112dと、鏝部112aの内側に形成される開口に横架された補強のための梁部112eとを有する。

20 鏝部112a及び天板112cは、荷重を受けるので、円筒部112bよりも厚く形成されている。また、石英ベルジャ112は、縦方向に延在する中空部112dと横方向に延在する梁部112eとが内部で交差しているため、上下方向及び半径方向の強度が高められている。

また、梁部112eの中間位置には、中空部112dの下端部分が結合されており、中空部112d内の挿通孔112fは梁部112eも貫通している。この
25 挿通孔112fには、保持部材120の軸120dが挿通される。

そして、石英ベルジャ112の内部空間113には、前述したSiCヒータ114及び熱反射部材116が挿入される。また、SiCヒータ114及び熱反射部材116は、円盤状に形成されているが、円弧状に分割可能な構成であり、梁

部112eを避けて内部空間113に挿入された後に組み立てられる。

さらに、石英ベルジャ112の天板112cには、SiCサセプタ118を支持するためのボス112g~112iが3箇所(120度間隔)に突出している。そのため、ボス112g~112iに支持されたSiCサセプタ118は、天板
5 112cから僅かに浮いた状態に載置される。そのため、処理容器22の内部圧力が変化したり、あるいは温度変化が生じることによりSiCサセプタ118が下方に変動した場合でも、天板112cに接触することが防止される。

また、石英ベルジャ112の内部圧力は、後述するように処理容器22のプロセス空間84の圧力と差が50 Torr 以下になるように減圧システムによる排
10 気流量の制御を行うため、石英ベルジャ112の肉厚を比較的薄く製作することが可能になる。これにより、天板112cの厚さを6~10mm程度に薄くすることができるので、石英ベルジャ112の熱容量が小さくなって加熱時の熱伝導効率を高めることにより応答性を向上させることが可能になる。尚、本実施例の石英ベルジャ112は、100 Torr の圧力に耐える強度を有するように設計
15 されている。

図29は減圧システムの排気系統の構成を示す系統図である。

図29に示されるように、処理容器22のプロセス空間84は、前述したようにバルブ48aの開弁により排気口74に連通された排気経路32を介してターボ分子ポンプ50の吸引力により減圧される。さらに、ターボ分子ポンプ50の
20 排気口に接続された真空管路51の下流は、排気されたガスを吸引するポンプ(MBP) 201に連通されている。

石英ベルジャ112の内部空間113は、排気管路202を介してバイパス管路51aに接続され、回転駆動部28のケーシング122により画成された内部空間124は、排気管路204を介してバイパス管路51aに接続されている。

25 排気管路202には、内部空間113の圧力を測定する圧力計205と、石英ベルジャ112の内部空間113を減圧する際に開弁されるバルブ206とが設けられている。また、バイパス管路51aには、前述したようにバルブ48bが設けられ、且つバルブ48bをバイパスする分岐管路208が設けられている。この分岐管路208には、減圧工程の初期段階に開弁されるバルブ210と、バ

バルブ 48b よりも流量を絞るための可変絞り 211 とが設けられている。

また、ターボ分子ポンプ 50 の排気側には、開閉用のバルブ 212 と、排気側の圧力を測定する圧力計 214 とが設けられている。そして、ターボ軸パージ用の N2 ラインがターボ分子ポンプ 50 に連通されたターボ管路 216 には、逆止弁 218、絞り 220、バルブ 222 が設けられている。

尚、上記バルブ 206、210、212、222 は、電磁弁からなり、制御回路からの制御信号により開弁する。

上記のように構成された減圧システムでは、処理容器 22、石英ベルジャ 112、回転駆動部 28 の減圧工程を行う場合、一気に減圧するのではなく、段階的に減圧して徐々に真空に近づけるように減圧させる。

まず、石英ベルジャ 112 の排気管路 202 に設けられたバルブ 206 を開弁することで石英ベルジャ 112 の内部空間 113 とプロセス空間 84 との間が排気経路 32 を介して連通状態となり、圧力の均一化が行われる。これにより、減圧工程の開始段階での石英ベルジャ 112 の内部空間 113 とプロセス空間 84 との間の圧力差が小さくなる。

次に上記分岐管路 208 に設けられたバルブ 210 を開弁させて可変絞り 211 により絞られた小流量による減圧を行う。その後、バイパス管路 51a に設けられたバルブ 48b を開弁させて排気流量を段階的に増大させる。

また、圧力計 205 により測定された石英ベルジャ 112 の圧力と、センサユニット 85 の圧力計 85a ~ 85c により測定されたプロセス空間 84 の圧力とを比較し、両圧力の差が 50 Torr 以下であるとき、バルブ 48b を開弁させる。これにより、減圧工程において、石英ベルジャ 112 にかかる内外の圧力差を緩和して石英ベルジャ 112 に不要な応力が作用しないように減圧工程を行う。

そして、所定時間経過後にバルブ 48a を開弁させてターボ分子ポンプ 50 の吸引力による排気流量を増大させて処理容器 22、石英ベルジャ 112、回転駆動部 28 の内部を真空になるまで減圧する。

(5) ここで、上記保持部材 120 の構成について説明する。

図 30A は保持部材 120 の構成を示す平面図であり、図 30B は保持部材 120 の構成を示す側面図である。

図30A、図30Bに示されるように、保持部材120は、被処理基板Wを支持する腕部120a～120cと、腕部120a～120cが結合された軸120dとから構成されている。腕部120a～120cは、プロセス空間84におけるコンタミネーションを防止し、且つSiCサセプタ118からの熱を遮蔽しないようにするため、透明石英により形成されており、軸120dの上端を中心軸として120度間隔で水平方向に放射状に延在している。

さらに、腕部120a～120cの長手方向の中間位置には、被処理基板Wの下面に当接するボス120e～120gが突出している。そのため、被処理基板Wは、ボス120e～120gが当接する3点で支持される。

10 このように、保持部材120は、点接触で被処理基板Wを支持する構成であるので、SiCサセプタ118に対して僅かな距離で離間した位置に被処理基板Wを保持することができる。尚、SiCサセプタ118と被処理基板Wとの離間距離は、例えば、1～20mmであり、望ましくは3～10mm程度が良い。

すなわち、被処理基板Wは、SiCサセプタ118の上方に浮いた状態で回転
15 することになり、直接SiCサセプタ118に載置される場合よりもSiCサセプタ118からの熱が均一に放射され、周縁部分と中心部分の温度差が生じにくく、温度差による被処理基板Wの反りも防止される。

被処理基板Wは、SiCサセプタ118から離間した位置に保持されているので、温度差によって反りが生じててもSiCサセプタ118に接触せず、定常時の
20 温度均一化に伴って元の水平状態に復帰することが可能になる。

また、保持部材120の軸120dは、不透明石英により棒状に形成されており、上記SiCサセプタ118及び石英ベルジャ112の挿通孔112fに挿通されて下方に延在する。このように、保持部材120は、プロセス空間84内で被処理基板Wを保持するものであるが、石英により形成されているので、金属製の
25 ものよりもコンタミネーションのおそれがない。

(6) ここで、上記回転駆動部28の構成について詳細に説明する。

図31はヒータ部24の下方に配置された回転駆動部28の構成を示す縦断面図である。図32は回転駆動部28を拡大して示す縦断面図である。

図31及び図32に示されるように、ヒータ部24のベース110の下面に回

転駆動部 28 を支持するためのホルダ 230 が締結されている。このホルダ 230 には、回転位置検出機構 232 と、ホルダ冷却機構 234 とが設けられている。

さらに、ホルダ 230 の下方には、保持部材 120 の軸 120 d が挿通固定されたセラミック軸 126 が挿入されており、セラミック軸 126 を回転可能に支持するセラミック軸受 236, 237 を保持する固定側のケーシング 122 がボルト 240 により固定されている。

ケーシング 122 内においては、回転部分がセラミック軸 126 とセラミック軸受 236, 237 とから構成されているので、金属のコンタミネーションが防止されている。

10 ケーシング 122 は、ボルト 240 が挿通されるフランジ 242 と、フランジ 238 より下方に延在形成された有底筒状の隔壁 244 とを有する。隔壁 244 の外周面には、前述した減圧システムの排気管路 204 が連通される排気ポート 246 が設けられており、ケーシング 122 の内部空間 124 の気体は、前述した減圧システムによる減圧工程において、排気されて減圧される。そのため、プロセス空間 84 内のガスが保持部材 120 の軸 120 d に沿って外部に流出することが防止される。

さらに、内部空間 124 には、マグネットカップリング 130 の従動側マグネット 248 が収納されている。この従動側マグネット 248 は、コンタミネーションを防止するため、セラミック軸 126 の外周に嵌合されたマグネットカバー 20 250 に覆われており、内部空間 124 内の気体と接触しないように取り付けられている。

マグネットカバー 250 は、アルミ合金により環状に形成されたカバーであり、内部に収納する環状の空間が形成されている。内にがたつきの無い状態に収納されている。また、マグネットカバー 250 の継ぎ目部分は、電子ビーム溶接により隙間無く結合されており、ロウ付け等のように銀が流出してコンタミネーションが生じることがないように加工されている。

さらに、ケーシング 122 の外周には、筒状に形成された大気側回転部 252 が嵌合するように設けられており、軸受 254, 255 を介して回転可能に支持されている。そして、大気側回転部 252 の内周には、マグネットカップリング

1 3 0の駆動側マグネット2 5 6が取り付けられている。

大気側回転部2 5 2は、下端部2 5 2 aが伝達部材2 5 7を介してモータ1 2 8の駆動軸1 2 8 aが結合されている。そのため、モータ1 2 8の回転駆動力は、大気側回転部2 5 2に設けられた駆動側マグネット2 5 6とケーシング1 2 2の内部に設けられた従動側マグネット2 4 8との間の磁力を介してセラミック軸1 2 6に伝達され、保持部材1 2 0及び被処理基板Wに伝達される。

また、大気側回転部2 5 2の外側には、大気側回転部2 5 2の回転を検出する回転検出ユニット2 5 8が設けられている。この回転検出ユニット2 5 8は、大気側回転部2 5 2の下端部外周に取り付けられた円盤状のスリット板2 6 0、2 6 1と、スリット板2 6 0、2 6 1の回転量を光学的に検出するフォトインタラプタ2 6 2、2 6 3とから構成されている。

フォトインタラプタ2 6 2、2 6 3は、ブラケット2 6 4により固定側のケーシング1 2 2に固定されている。そして、回転検出ユニット2 5 8では、一対のフォトインタラプタ2 6 2、2 6 3から回転速度に応じたパルスが同時に検出されるので、両パルスと比較することにより回転検出精度を高めることが可能になる。

図3 3 Aはホルダ冷却機構2 3 4の構成を示す横断面図であり、図3 3 Bはホルダ冷却機構2 3 4の構成を示す側面図である。

図3 3 A、図3 3 Bに示されるように、ホルダ冷却機構2 3 4は、ホルダ2 3 0の内部に周方向に延在する冷却水用の水路2 3 0 aが形成されている。そして、水路2 3 0 aの一端に冷却水供給ポート2 3 0 bが連通され、水路2 3 0 aの他端に冷却水排出ポート2 3 0 cが連通されている。

冷却水供給部4 6から供給された冷却水は、冷却水供給ポート2 3 0 bから水路2 3 0 aを通過した後、冷却水排出ポート2 3 0 cから排出されるため、ホルダ2 3 0全体を冷却することができる。

図3 4は回転位置検出機構2 3 2の構成を示す横断面図である。

図3 4に示されるように、ホルダ2 3 0の一方の側面には、発光素子2 6 6が取り付けられ、ホルダ2 3 0の他方の側面には、発光素子2 6 6からの光を受光する受光素子2 6 8が取り付けられている。

また、ホルダ 230 の中央には、保持部材 120 の軸 120 d が挿通される中央孔 230 d が上下方向に貫通しており、この中央孔 230 d に交差するように横方向に貫通する貫通孔 230 e, 230 f が設けられている。

- 5 発光素子 266 は、一方の貫通孔 230 e の端部に挿入され、受光素子 268 は、他方の貫通孔 230 f の端部に挿入されている。貫通孔 230 e と 230 f との間には、軸 120 d が挿通されているため、軸 120 d の回転位置を受光素子 268 の出力変化から検出することが可能になる。

(7) ここで、回転位置検出機構 232 の構成及び作用について詳細に説明する。

- 10 図 35 A は回転位置検出機構 232 の非検出状態を示す図であり、図 35 B は回転位置検出機構 232 の検出状態を示す図である。

- 図 35 A に示されるように、保持部材 120 の軸 120 d は、外周に接線方向の面取り加工が施されている。この面取り部 120 i は、発光素子 266 と受光素子 268 との中間位置に回動したとき、発光素子 266 から発光された光と平行になる。
- 15

このとき、発光素子 266 からの光は、面取り部 120 i の横を通過して受光素子 268 に照射される。これにより、受光素子 268 の出力信号 S はオンになり、回転位置判定回路 270 に供給される。

- 図 35 B に示されるように、保持部材 120 の軸 120 d が回動して面取り部 120 i の位置が中間位置からずれると、発光素子 266 からの光は、軸 120 d に遮断され、回転位置判定回路 270 への出力信号 S はオフになる。
- 20

図 36 A は、回転位置検出機構 232 の受光素子 268 の出力信号 S を示す波形図であり、図 36 B は回転位置判定回路 270 から出力されるパルス信号 P の波形図である。

- 25 図 36 A に示されるように、受光素子 268 は、軸 120 d の回動位置によって発光素子 266 からの光の受光量（出力信号 S）が放物線状に変化する。回転位置判定回路 270 では、この出力信号 S に対する閾値 H を設定することで、出力信号 S が閾値 H 以上になったときにパルス P を出力する。

このパルス P が保持部材 120 の回動位置を検出した検出信号として出力され

る。すなわち、回転位置判定回路270は、図10に示されるように、保持部材120の腕部120a~120cが昇降アーム132の当接ピン138a~138cに干渉せず、且つ搬送ロボット98のロボットハンドと干渉しない位置にあることを判定し、その検出信号（パルスP）を出力する。

- 5 (8) ここで、上記回転位置判定回路270から出力された検出信号（パルスP）に基づいて制御回路が実行する回転位置制御処理について説明する。

図37は制御回路が実行する回転位置制御処理を説明するためのフローチャートである。

- 10 図37に示されるように、制御回路は、S11において、被処理基板Wの回転を指示する制御信号があると、S12に進み、モータ128を起動させる。続いて、S13に進み、受光素子268の信号がオンかどうかをチェックする。S13で受光素子268の信号がオンであるときは、S14に進み、検出信号（パルスP）の周期から保持部材120及び被処理基板Wの回転数を演算する。

- 15 続いて、S15に進み、保持部材120及び被処理基板Wの回転数nが予め設定された目標回転 n_a かどうかをチェックする。S15において、保持部材120及び被処理基板Wの回転数nが目標回転 n_a に達していないときは、上記S13に戻り、モータ128の回転数が上昇したかどうかを再度チェックする。

- 20 また、上記S15において、 $n=n_a$ のときは、保持部材120及び被処理基板Wの回転数nが目標回転 n_a に達しているので、S17に進み、モータ停止の制御信号があるかどうかをチェックする。S17において、モータ停止の制御信号が無いときは、上記S13に戻り、モータ停止の制御信号があるときは、S18に進み、モータ128を停止させる。続いて、S19で受光素子268の信号がオンかどうかをチェックし、受光素子268の信号がオンになるまで繰り返す。

- 25 このようにして、保持部材120の腕部120a~120cが昇降アーム132の当接ピン138a~138cに干渉せず、且つ搬送ロボット98のロボットハンドと干渉しない位置に停止させることができる。

尚、上記回転位置制御処理では、受光素子268からの出力信号の周期から回転数を求める方法を用いた場合について説明したが、例えば前述したフォトインタラプタ262、263から出力された信号を積算して回転数を求めることも可

能である。

(9) ここで、処理容器122の側面に形成された窓75、76の構成について詳細に説明する。

図38は窓75、76の取付箇所を上方からみた横断面図である。図39は窓75を拡大して示す横断面図である。図40は窓76を拡大して示す横断面図である。

図38及び図39に示されるように、第1の窓75は、処理容器122の内部に形成されたプロセス空間84にガスが供給されたり、真空中に減圧されるため、気密性がより高められた構成になっている。

10 窓75は、透明石英272と、紫外線を遮断するUVガラス274とを有する2重構造になっている。透明石英272は、窓取り付け部276に当接させた状態で第1の窓枠278が窓取り付け部276にビス277でネジ止めされて固定される。窓取り付け部276の外面には、透明石英272との間を気密にシールするシール部材(リング)280が装着されている。さらに、第1の窓枠27
15 8の外面には、UVガラス274を当接させた状態で第2の窓枠282がビス284でネジ止めされて固定される。

このように、窓75は、紫外線光源(UVランプ)86、87から照射された紫外線がUVガラス274によって遮断されてプロセス空間84の外部に漏れることを防止していると共に、シール部材280のシール効果によってプロセス空間84に供給されたガスが外部に流出することを防止している。
20

また、処理容器22の側面を貫通する開口286は、処理容器22の中央、すなわち保持部材120に保持された被処理基板Wの中心に向かうように斜めに貫通している。そのため、窓75は、処理容器22の側面中心から外れた位置に設けられているが、横方向に広く見えるように楕円形状に形成されており、被処理
25 基板Wの状態を外部から視認することができる。

また、第2の窓76は、上記窓75と同様な構成になっており、透明石英292と、紫外線を遮断するUVガラス294とを有する2重構造になっている。透明石英292は、窓取り付け部296に当接させた状態で第1の窓枠298が窓取り付け部296にビス297でネジ止めされて固定される。窓取り付け部296

の外面には、透明石英 292 との間を気密にシールするシール部材（Ｏリング）300 が装着されている。さらに、第 1 の窓枠 298 の外面には、UV ガラス 294 を当接させた状態で第 2 の窓枠 302 がビス 304 でネジ止めされて固定される。

- 5 このように、窓 76 は、紫外線光源（UV ランプ）86，87 から照射された紫外線が UV ガラス 294 によって遮断されてプロセス空間 84 の外部に漏れることを防止していると共に、シール部材 300 のシール効果によってプロセス空間 84 に供給されたガスが外部に流出することを防止している。

- 尚、本実施例では、処理容器 22 の側面に一對の窓 75，76 を配置した構成
10 を一例として説明したが、これに限らず、3 個以上の窓を設けるようにしても良いし、あるいは側面以外の場所に設けるようにしても良いのは勿論である。

（10）ここで、石英ライナ 100 を構成する各ケース 102，104，106，108 について説明する。

- 図 9 及び図 10 に示されるように、石英ライナ 100 は、下部ケース 102、
15 側面ケース 104、上部ケース 106、円筒状ケース 108 とを組み合わせた構成になっており、夫々が不透明石英により形成されており、アルミ合金製の処理容器 22 をガスや紫外線から保護すると共に、処理容器 22 による金属のコンタミネーションを防止することを目的として設けられている。

- 図 41A は下部ケース 102 の構成を示す平面図であり、図 41B は下部ケー
20 ス 102 の構成を示す側面図である。

- 図 41A、図 41B に示されるように、下部ケース 102 は、輪郭形状が処理容器 22 の内壁形状に対応した板状に形成されており、その中央には SiC サセ
プタ 118 及び被処理基板 W に対向する円形開口 310 が形成されている。この
円形開口 310 は、円筒状ケース 108 が挿入可能な寸法に形成されており、内
25 周には保持部材 120 の腕部 120a～120c の先端部を挿入するための凹部
310a～310c が 120 度間隔で設けられている。

尚、凹部 310a～310c の位置は、保持部材 120 の腕部 120a～120c が昇降アーム 132 の当接ピン 138a～138c に干渉せず、且つ搬送ロボット 98 のロボットハンドと干渉しない位置である。

また、下部ケース１０２には、処理容器２２の底部に形成された排気口７４に
対向する長方形の開口３１２が設けられている。さらに、下部ケース１０２は、
下面に位置決め用の突起３１４ａ，３１４ｂが非対称位置に設けられている。

また、上記円形開口３１０の内周には、後述する円筒状ケース１０８の突起が
5 嵌合するための凹部３１０ｄが形成されている。さらに、下部ケース１０２の周
縁部には、側面ケース１０４に嵌合する段部３１５が設けられている。

図４２Ａは側面ケース１０４の構成を示す平面図であり、図４２Ｂは側面ケー
ス１０４の正面図であり、図４２Ｃは側面ケース１０４の背面図であり、図４２
10 Ｄは側面ケース１０４の左側面図であり、図４２Ｅは側面ケース１０４の右側面
図である。

図４２Ａ～図４２Ｅに示されるように、側面ケース１０４は、外形状が処理容
器２２の内壁形状に対応した四隅がＲ形状とされた略四角形の枠形状に形成され
ており、内側にプロセス空間８４が形成される。

また、側面ケース１０４は、正面１０４ａに前述したガス噴射ノズル部９３の
15 複数の噴射口９３ａに対向するように横方向に延在された細長形状のスリット３
１６と、リモートプラズマ部２７に連通される連通孔９２に対向する位置に設け
られたＵ字状の開口３１７とが設けられている。尚、本実施例では、スリット３
１６と開口３１７とが連通した構成になっているが、夫々独立した開口として形
成することも可能である。

20 また、側面ケース１０４は、背面１０４ｂに前述した搬送ロボット９８のロボ
ットハンドが通過するための凹部３１８が搬送口９４に対向する位置に形成され
ている。

また、側面ケース１０４は、左側面１０４ｃに前述したセンサユニット８５に
対向する円形の孔３１９が形成され、右側面１０４ｄに前述した窓７５，７６と、
25 センサユニット７７に対向する孔３２０～３２２が形成されている。

図４３Ａは上部ケース１０６の構成を示す底面図であり、図４３Ｂは上部ケー
ス１０６の側面図である。

図４３Ａ、図４３Ｂに示されるように、上部ケース１０６は、輪郭形状が処理
容器２２の内壁形状に対応した板状に形成されており、紫外線光源（ＵＶランプ）

86, 87に対向する位置に長形状の開口324, 325が形成されている。さらに、上部ケース106の周縁部には、側面ケース104に嵌合する段部326が設けられている。

また、上部ケース106は、蓋部材82の形状に対応する円形孔327~329、及び長方形の四角孔330が設けられている。

図44Aは円筒状ケース108の構成を示す平面図であり、図44Bは円筒状ケース108の側面縦断面図であり、図44Cは円筒状ケース108の側面図である。

図44A~図44Cに示されるように、円筒状ケース108は、石英ベルジャ112の外周を覆うように筒状に形成されており、上端縁部には昇降アーム132の当接ピン138a~138cが挿入される凹部108a~108cが設けられている。さらに、円筒状ケース108は、上端部の外周に下部ケース102の凹部310dが嵌合する位置合わせ用の突起108dが形成されている。

(11) ここで、リフタ機構30のシール構造について説明する。

図45はリフタ機構30を拡大して示す縦断面図である。図46はリフタ機構30のシール構造拡大して示す縦断面図である。

図45及び図46に示されるように、リフタ機構30は、駆動部136により昇降軸134を昇降させてチャンバ80内に挿入された昇降アーム132を昇降させる際、チャンバ80の貫通孔80a内に挿入された昇降軸134の外周が蛇腹形状のベローズ332により覆われており、チャンバ80内でのコンタミネーションを防止するように構成されている。

ベローズ332は、蛇腹部分が伸縮可能な形状になっており、例えばインコネルやハステロイなどにより形成されている。また、貫通孔80aは、昇降軸134が挿通された蓋部材340により閉塞されている。

さらに、昇降軸134の上端がボルト334により締結される昇降アーム132の連結部材336には、円筒形状のセラミックカバー338が嵌合固定されている。このセラミックカバー338は、連結部材336より下方に延在形成されるため、ベローズ332の周囲を覆うことによりチャンバ80内で直接露出されないように設けられている。

そのため、ベローズ 332 は、プロセス空間 84 において、昇降アーム 132 を上昇させる際に上方に伸びてしまい、セラミックにより形成された円筒状カバー 338 により覆われている。よって、ベローズ 332 は、貫通孔 80a に昇降可能に挿入された円筒状カバー 338 によりプロセス空間 84 のガスや熱に直接
5 晒されることがなく、ガスや熱による劣化を防止されている。

(12) 以下に、基板処理装置 20 を使って行う被処理基板 W 表面の紫外光ラジカル酸化処理、およびその後に行われるリモートプラズマラジカル窒化処理について説明する。

[紫外光ラジカル酸化処理]

10 図 47A は、図 2 の基板処理装置 20 を使って被処理基板 W のラジカル酸化を行う場合を示す側面図および平面図であり、図 47B は図 47A の構成を示す平面図である。

図 47A に示されるように、前記プロセス空間 84 中にはガス噴射ノズル部 93 から酸素ガスが供給され、被処理基板 W の表面に沿って流れた後、排気口 74、
15 ターボ分子ポンプ 50 およびポンプ 201 を通って排気される。ターボ分子ポンプ 50 を使うことにより、前記プロセス空間 84 のプロセス圧が、基板 W の酸素ラジカルによる酸化に必要な $10^{-3} \sim 10^{-6} \text{ Torr}$ の範囲に設定される。

これと同時に、好ましくは 172 nm の波長の紫外光を発生する紫外線光源 86、87 を駆動することにより、このようにして形成された酸素ガス流中に酸素
20 ラジカルが形成される。形成された酸素ラジカルは前記被処理基板 W の表面に沿って流れる際に、回転している基板表面を酸化する。このような被処理基板 W の酸素ラジカルによる酸化により、シリコン基板表面に 1 nm 以下の膜厚の非常に薄い酸化膜、特に 2～3 原子層に相当する約 0.4 nm の膜厚の酸化膜を、安定に再現性良く形成することが可能になる。

25 図 47B に示されるように、紫外線光源 86、87 は酸素ガス流の方向に交差する方向に延在する管状の光源であり、ターボ分子ポンプ 50 が排気口 74 を介してプロセス空間 84 を排気するのがわかる。一方、前記排気口 74 から直接にポンプ 50 に至る、図 47B 中に点線で示した排気経路は、バルブ 48b を閉鎖することにより遮断されている。

図48は、図2の基板処理装置20において図47A、図47Bの工程によりシリコン基板表面にシリコン酸化膜を、基板温度を450℃に設定し、紫外光照射強度および酸素ガス流量あるいは酸素分圧を様々に変化させながら形成した場合の、膜厚と酸化時間との関係を示す。ただし図48の実験ではラジカル酸化に先立ってシリコン基板表面の自然酸化膜を除去し、また場合によっては基板表面に残留する炭素を紫外光励起窒素ラジカル中において除去し、さらにAr雰囲気中、約950℃における高温熱処理を行うことにより、基板表面を平坦化している。また前記紫外線光源86、87としては、波長が172nmのエキシマランプを使った。

- 10 図48を参照するに、系列1のデータは、紫外光照射強度を紫外光源24Bの窓面における基準強度(50mW/cm²)の5%に設定し、プロセス圧を665mPa(5mTorr)、酸素ガス流量を30SCCMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を、系列2のデータは紫外光強度をゼロに設定し、プロセス圧を133Pa(1Torr)、酸素ガス流量を3SLMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示す。また系列3のデータは紫外光強度をゼロに設定し、プロセス圧を2.66Pa(20mTorr)、酸素ガス流量を150SCCMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示し、系列4のデータは紫外光照射強度を100%、すなわち前記基準強度に設定し、プロセス圧を2.66Pa(20mTorr)、酸素ガス流量を150SCCMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示す。さらに系列5のデータは紫外光照射強度を基準強度の20%に設定し、プロセス圧を2.66Pa(20mTorr)、酸素ガス流量を150SCCMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示し、系列6のデータは、紫外光照射強度を基準照射強度の20%に設定し、プロセス圧を約67Pa(0.5Torr)、酸素ガス流量を0.5SLMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を示す。さらに系列7のデータは、紫外光照射強度を基準強度の20%に設定し、プロセス圧を665Pa(5Torr)に、酸素ガス流量を2SLMに設定した場合の酸化時間と酸化膜厚との関係を、系列8のデータは、紫外光照射強度を基準強度の5%に設定し、プロセス圧を2.66Pa(20mTorr)、酸素ガス流量を150SCCMに設定した場合の酸化時間と
- 15
- 20
- 25

酸化膜厚との関係を示す。

図48の実験において、酸化膜の膜厚はXPS法により求めているが、このように1nmを下回る非常に薄い酸化膜の膜厚を求める統一された方法は、現時点では存在しない。

- 5 そこで本発明の発明者は、図49に示す観測されたSi_{2p}軌道のXPSスペクトルに対してバックグラウンド補正および3/2と1/2スピン状態の分離補正を行い、その結果得られた図50に示すSi_{2p}^{3/2}XPSスペクトルをもとに、Lu他 (Z. H. Lu, et al., Appl. Phys. Lett. 71 (1997), pp.2764) の教示に従って、式(1)に示す式および係数を使って酸化膜の膜厚dを求めた。

$$10 \quad d = \lambda \sin \alpha \cdot \ln [I^{X+} / (\beta I^{O+}) + 1] \quad (1)$$

$$\lambda = 2.96$$

$$\beta = 0.75$$

- ただし式(1)においてαは図55に示すXPSスペクトルの検出角であり、図示の例では30°に設定されている。また数1中、I^{X+}は酸化膜に対応するスペクトルピークの積分強度(I^{1x}+I^{2x}+I^{3x}+I^{4x})であり、図50中、102~104eVのエネルギー領域において見られるピークに対応している。一方、I^{O+}は100eV近傍のエネルギー領域に対応した、シリコン基板に起因するスペクトルピークの積分強度に対応する。
- 15

- 再び図48を参照するに、紫外光照射パワー、従って形成される酸素ラジカル密度が小さい場合(系列1, 2, 3, 8)には、最初は酸化膜の酸化膜厚が0nmであったものが、酸化時間と共に酸化膜厚が徐々に増加し続けるのに対し、紫外光照射パワーを基準強度の20%以上に設定した系列4, 5, 6, 7では、図51に概略的に示すように酸化膜成長が成長開始後、おおよそ0.4nmの膜厚に到達した時点で停留し、ある程度の停留時間が経過した後、急激に成長が再開
- 25 されるのが認められる。

図48あるいは図51の関係は、シリコン基板表面の酸化処理において、0.4nm前後の膜厚の非常に薄い酸化膜を、安定して形成できることを意味している。また、図48に見られるように、かかる停留時間がある程度継続することから、形成される酸化膜は、一様な厚さを有することがわかる。すなわち、本発明

によれば、約0.4 nmの厚さの酸化膜をシリコン基板上に、一様な厚さに形成することが可能になる。

図52A、図52Bは、かかるシリコン基板上への薄い酸化膜の形成過程を概略的に示す。これらの図では、シリコン(100)基板上の構造を極めて単純化

5 していることに注意すべきである。

図52Aを参照するに、シリコン基板表面には、シリコン原子1個あたり2個の酸素原子が結合し、1原子層の酸素層が形成されている。この代表的な状態では、基板表面のシリコン原子は基板内部の2つのシリコン原子と基板表面の2つの酸素原子により配位され、サブオキサイドを形成している。

10 これに対し、図52Bの状態ではシリコン基板最上部のシリコン原子は4つの酸素原子により配位されており、安定な Si^{4+} の状態をとる。これが理由で、図52Aの状態では速やかに酸化が進み、図52Bの状態になって酸化が停留するものと考えられる。図52Bの状態における酸化膜の厚さは約0.4 nmであり、これは図48において観測される停留状態における酸化膜厚と良く一致する。

15 図50のXPSスペクトルにおいて、酸化膜厚が0.1 nmあるいは0.2 nmの場合に101~104 eVのエネルギー範囲において見られる低いピークが図52Aのサブオキサイドに対応し、酸化膜厚が0.3 nmを超えた場合にこのエネルギー領域に表れるピークが Si^{4+} に起因するもので、1原子層を超える酸化膜の形成を表しているものと考えられる。

20 このような0.4 nmの膜厚における酸化膜厚の停留現象は、図47A、図47Bの UVO_2 ラジカル酸化プロセスに限定されるものではなく、同様に薄い酸化膜が精度よく形成できる酸化膜形成方法であれば、同じように見られるものであると考えられる。

図52Bの状態からさらに酸化を継続すると、酸化膜の厚さは再び増大する。

25 図53は、このように基板処理装置20を使った図47A、図47Bの紫外光ラジカル酸化プロセスにより形成された酸化膜上に厚さが0.4 nmの $ZrSiO_x$ 膜と電極膜とを形成し(後で説明する図54Bを参照)、得られた積層構造に対して求めた熱酸化膜換算膜厚 T_{eq} とリーク電流 I_g との関係を示す。ただし、図53のリーク電流特性は、前記電極膜とシリコン基板との間にフラットバンド

電圧 V_{fb} を基準に、 $V_{fb} - 0.8 \text{ V}$ の電圧を印加した状態で測定している。比較のため、図 5 3 中には熱酸化膜のリーク電流特性をも示してある。また図示している換算膜厚は、酸化膜と $ZrSiO_x$ 膜を合わせた構造についてのものである。

- 5 図 5 3 を参照するに、酸化膜を省略した場合、すなわち酸化膜の膜厚が 0 nm の場合にはリーク電流密度が熱酸化膜のリーク電流密度を超えており、また熱酸化膜換算膜厚 T_{eq} も約 1.7 nm 程度の比較的大きな値になることがわかる。

- これに対し、酸化膜の膜厚を 0 nm から 0.4 nm まで増大させると、熱酸化膜換算膜厚 T_{eq} の値が減少をはじめるのがわかる。このような状態では酸化膜
- 10 がシリコン基板と $ZrSiO_x$ 膜との間に介在することになり、物理膜厚は実際には増大するはずなのに換算膜厚 T_{eq} は減少しているが、これはシリコン基板上に ZrO_2 膜を直接に形成した場合、図 5 4 A に示すように Zr のシリコン基板中への拡散あるいは Si の $ZrSiO_x$ 膜中への拡散が大規模に生じ、シリコン基板と $ZrSiO_x$ 膜との間に厚い界面層が形成されていることを示唆している。
- 15 これに対し、図 5 4 B に示すように厚さが 0.4 nm の酸化膜を介在させることにより、このような界面層の形成が抑制され、結果として換算膜厚が減少するものと考えられる。これに伴って、リーク電流の値も酸化膜の厚さと共に減少するのがわかる。ただし図 5 4 A、図 5 4 B は、このようにして形成された試料の概略的な断面を示しており、シリコン基板 4 4 1 上に酸化膜 4 4 2 が形成され、
- 20 酸化膜 4 4 2 上に $ZrSiO_x$ 膜 4 4 3 が形成されている構造を示している。

一方、前記酸化膜の膜厚が 0.4 nm を超えると、熱酸化膜換算膜厚の値は再び増大をはじめめる。酸化膜の膜厚が 0.4 nm を超えた範囲においては、膜厚の増大と共にリーク電流の値も減少しており、換算膜厚の増大は酸化膜の物理膜厚の増大に起因するものであると考えられる。

- 25 このように、図 4 8 で観測された酸化膜の成長が停留する 0.4 nm 付近の膜厚は、酸化膜と高誘電体膜とよりなる系の換算膜厚の最小値に対応しており、図 5 2 (B) に示す安定な酸化膜により、 Zr 等の金属元素のシリコン基板中への拡散が効果的に阻止されること、またこれ以上酸化膜の厚さを増大させても、金属元素の拡散阻止効果はそれほど高まらないことがわかる。

さらに0.4 nmの厚さの酸化膜を使った場合のリーク電流の値は、対応する厚さの熱酸化膜のリーク電流の値よりも二桁ほど小さく、このような構造の絶縁膜をMOSトランジスタのゲート絶縁膜に使うことにより、ゲートリーク電流を最小化できることがわかる。

- 5 また、図48あるいは図51で説明した酸化膜成長の0.4 nmにおける停留現象の結果、図55Aに示すようにシリコン基板441上に形成された酸化膜442に当初膜厚の変化ないし凹凸が存在していても、酸化膜成長の際に膜厚の増大が図55Bに示すように0.4 nmの近傍において停留するため、停留期間内で酸化膜成長を継続することにより、図55Cに示す非常に平坦な、一様な膜厚
- 10 の酸化膜442を得ることができる。

先にも説明したように、非常に薄い酸化膜に対しては、現状では統一された膜厚測定方法が存在しない。このため、図55Cの酸化膜442の膜厚値自体は、測定方法で異なる可能性がある。しかし、先に説明した理由から、酸化膜成長に停留が生じる厚さは、2原子層分の厚さであることがわかっており、従って、好ましい酸化膜442の膜厚は、約2原子層分の厚さであると考えられる。この好ましい厚さには、2原子層分の厚さが酸化膜442全体にわたり確保されるように、部分的に3原子層分の厚さの領域が形成されている場合も含まれる。すなわち、好ましい酸化膜442の厚さは、実際には2～3原子層の範囲であると考えられる。

20 [リモートプラズマラジカル窒化処理]

図56は、基板処理装置20において使われるリモートプラズマ部27の構成を示す。

図56に示されるように、リモートプラズマ部27は、内部にガス循環通路27aとこれに連通したガス入り口27bおよびガス出口76cを形成された、典型的にはアルミニウムよりなるブロック27Aを含み、前記ブロック27Aの一部にはフェライトコア27Bが形成されている。

前記ガス循環通路27aおよびガス入り口27b、ガス出口27cの内面にはフッ素樹脂コーティング27dが施され、前記フェライトコア27Bに巻回されたコイルに周波数が400 kHzの高周波を供給することにより、前記ガス循環

通路 27 a 内にプラズマ 27 C が形成される。

- プラズマ 27 C の励起に伴って、前記ガス循環通路 27 a 中には窒素ラジカルおよび窒素イオンが形成されるが、窒素イオンは前記循環通路 27 a を循環する際に消滅し、前記ガス出口 27 c からは主に窒素ラジカル N_2^* が放出される。さらに図 56 の構成では前記ガス出口 27 c に接地されたイオンフィルタ 27 e を設けることにより、窒素イオンをはじめとする荷電粒子が除去され、前記プロセス空間 84 には窒素ラジカルのみが供給される。また、前記イオンフィルタ 27 e を接地させない場合においても、前記イオンフィルタ 27 e の構造は拡散板として作用し、十分に窒素イオンをはじめとする荷電粒子を除去することが可能になる。

図 57 は、リモートプラズマ部 27 により形成されるイオンの数と電子エネルギーの関係を、マイクロ波プラズマ源の場合と比較して示す。

- 図 57 に示されるように、マイクロ波によりプラズマを励起した場合には窒素分子のイオン化が促進され、多量の窒素イオンが形成されることになる。これに対し 500 kHz 以下の高周波によりプラズマを励起した場合には、形成される窒素イオンの数が大幅に減少する。マイクロ波によりプラズマ処理を行う場合には、図 58 に示すように $1.33 \times 10^{-3} \sim 1.33 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ ($10^{-1} \sim 10^{-4} \text{ Torr}$) の高真空が必要になるが、高周波プラズマ処理は、13.3 ~ 13.3 kPa ($0.1 \sim 100 \text{ Torr}$) の比較的高い圧力で実行可能である。

- 以下の表 1 は、マイクロ波によりプラズマを励起する場合と、高周波によりプラズマを励起する場合との間での、イオン化エネルギー変換効率、放電可能圧力範囲、プラズマ消費電力、プロセスガス流量の比較を示す。

表 1

	イオン化エネルギー変換効率	放電可能圧力範囲	プラズマ消費電力	プロセスガス流量
マイクロ波	1.00×10^{-2}	$0.1 \text{ m} \sim 0.1 \text{ Torr}$	1 ~ 500 W	0 ~

				100SCCM
高周波	1.00×10^{-7}	0.1~100Torr	1~10kW	0.1~10SLM

表1を参照するに、イオン化エネルギー変換効率は、マイクロ波励起の場合に約 1×10^{-2} 程度であるのに対し、RF励起の場合、約 1×10^{-7} まで減少しており、また放電可能圧力はマイクロ波励起の場合 $0.1 \text{ mTorr} \sim 0.1 \text{ Torr}$ ($13.3 \text{ mPa} \sim 13.3 \text{ Pa}$) 程度であるのに対し、RF励起の場合には、
 5 $0.1 \sim 100 \text{ Torr}$ ($13.3 \text{ Pa} \sim 13.3 \text{ kPa}$) 程度であることがわかる。これに伴い、プラズマ消費電力はRF励起の場合の方がマイクロ波励起の場合よりも大きく、プロセスガス流量は、RF励起の場合の方がマイクロ波励起の場合よりもはるかに大きくなっている。

- 10 基板処理装置20では、酸化膜の窒化処理を窒素イオンではなく窒素ラジカル N_2^* で行っており、このため励起される窒素イオンの数は少ない方が好ましい。また被処理基板に加えられるダメージを最小化する観点からも、励起される窒素イオンの数は少ないのが好ましい。さらに基板処理装置20では、励起される窒素ラジカルの数も少なく、高誘電体ゲート絶縁膜下の非常に薄い、せいぜい2~
 15 3原子層程度の厚さしかないベース酸化膜を窒化するのに好適である。

図59A、図59Bは、それぞれ基板処理装置20を使って被処理基板Wのラジカル窒化を行う場合を示す側面図および平面図である。

- 図59A、図59Bに示されるように、リモートプラズマ部27にはArガスと窒素ガスが供給され、プラズマを数100kHzの周波数で高周波励起することにより窒素ラジカルが形成される。形成された窒素ラジカルは前記被処理基板Wの表面に沿って流れ、前記排気口74およびポンプ201を介して排気される。
 20 その結果前記プロセス空間84は、基板Wのラジカル窒化に適当な、 $1.33 \text{ Pa} \sim 13.3 \text{ kPa}$ ($0.01 \sim 100 \text{ Torr}$) の範囲のプロセス圧に設定される。このようにして形成された窒素ラジカルは、前記被処理基板Wの表面に沿って流れる際に、被処理基板Wの表面を窒化する。
 25

図59A、図59Bの窒化工程では、窒化工程に先立つパージ工程では前記パ

- 5 ルブ48aおよび212が開放され、バルブ48aが閉鎖されることで前記プロセス空間84の圧力が $1.33 \times 10^{-1} \sim 1.33 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ の圧力まで減圧され、プロセス空間84中に残留している酸素や水分がパージされるが、その後の窒化処理ではバルブ48aおよび212は閉鎖され、ターボ分子ポンプ50はプロセス空間84の排気経路には含まれない。

このように、基板処理装置20を使うことにより、被処理基板Wの表面に非常に薄い酸化膜を形成し、その酸化膜表面をさらに窒化することが可能になる。

- 10 図60Aは、基板処理装置20によりSi基板上に熱酸化処理により2.0nmの厚さに形成された酸化膜を、リモートプラズマ部27を使って、表2に示す条件で窒化した場合の前記酸化膜中における窒素濃度分布を示し、図60Bは、同じ酸化膜中における窒素濃度分布と酸素濃度分布との関係を示す。

表2

	窒素流量	Ar流量	プラズマ電力	圧力	温度
マイクロ波	15 SCCM	-	120W	8.6mTorr	500℃
高周波	50 SCCM	2SLM	2kW	1Torr	700℃

- 15 表2を参照するに、基板処理装置20を使ったRF窒化処理の際には、前記プロセス空間84中に窒素を50SCCMの流量で、またArを2SLMの流量で供給し、窒化処理は1Torr (133 Pa)の圧力下で行われるが、窒化処理開始前に一旦プロセス空間84の内圧を 10^{-6} Torr ($1.33 \times 10^{-4} \text{ Pa}$)程度まで減圧し、内部に残留している酸素あるいは水分を十分にパージしている。
- 20 このため、前記1Torr程度の圧力で行われる窒化処理の際には、プロセス空間84中において残留酸素はArおよび窒素により希釈されており、残留酸素濃度、従って残留酸素の熱力学的な活動度は非常に小さくなっている。

これに対し、マイクロ波プラズマを使った窒化処理では、窒化処理の際の処理圧力がパージ圧と同程度であり、従ってプラズマ雰囲気中において残留酸素は高

い熱力学的な活動度を有するものと考えられる。

図60Aを参照するに、マイクロ波励起プラズマにより窒化した場合には酸化膜中に導入される窒素の濃度は限られており、酸化膜の窒化は実質的に進行していないことがわかる。これに対し本実施例のようにRF励起プラズマにより窒化
5 した場合には、酸化膜中において窒素濃度が深さと共に直線的に変化し、表面近傍では20%近い濃度に達していることがわかる。

図61は、XPS（X線分光スペクトル）を使って行う図60Aの測定の原理を示す。

図61を参照するに、シリコン基板411上に酸化膜412を形成された試料
10 には所定の角度で斜めにX線が照射され、励起されたX線スペクトルを検出器DET1、DET2により、様々な角度で検出する。その際、例えば90°の深い検出角に設定された検出器DET1では励起X線の酸化膜412内における行路が短く、従って前記検出器DET1で検出されるX線スペクトルには酸化膜412の下部の情報を多く含まれるに対し、浅い検出角に設定された検出器DET2
15 では、励起X線の酸化膜12中における行路が長く、従って、検出器DET2は主に酸化膜412の表面近傍の情報を検出する。

図60Bは、前記酸化膜中における窒素濃度と酸素濃度との関係を示す。ただし図60B中、酸素濃度はO1s軌道に対応するX線強度により表されている。

図60Bを参照するに、酸化膜の窒化を本発明のようにRFリモートプラズマ
20 で行った場合には、窒素濃度の増大に伴って酸素濃度が減少しており、酸化膜中において窒素原子が酸素原子を置き換えていることがわかる。これに対し、酸化膜の窒化をマイクロ波プラズマで行った場合には、このような置換関係は見られず、窒素濃度と共に酸素濃度が低下する関係は見られない。また特に図60Bにおいては、マイクロ波窒化により5～6%の窒素を導入した例においては酸素濃
25 度の増加が見られており、これは窒化と共に酸化膜の増膜が起こることを示唆している。このようなマイクロ波窒化に伴う酸素濃度の増加は、マイクロ波窒化が高真空中において行われ、従って処理空間中に残留する酸素あるいは水分が高周波リモートプラズマ窒化の場合のようにArガスや窒素ガスにより希釈されることがなく、雰囲気中において高い活動度を有することによるものと考えられる。

図6 2は、基板処理装置2 0において酸化膜を4 Å (0. 4 nm) および7 Å (0. 7 nm) の厚さに形成し、これを前記リモートプラズマ部2 7を使った図5 9 A、図5 9 Bの窒化工程により窒化した場合の窒化時間と膜中の窒素濃度との関係を示す。また図6 3は、図6 2の窒化処理に伴う窒素の酸化膜表面への偏析の様子を示す。なお、図6 2及び図6 3には、酸化膜を急速熱酸化処理により5 Å (0. 5 nm) および7 Å (0. 7 nm) の厚さに形成した場合をも示している。

図6 2を参照するに、膜中の窒素濃度は、いずれの酸化膜であっても窒化処理時間と共に上昇するが、特に紫外光ラジカル酸化により形成された2原子層分に対応する0. 4 nmの膜厚を有する酸化膜の場合に、あるいはこれに近い0. 5 nmの膜厚を有する熱酸化膜の場合には、酸化膜が薄いため、同一成膜条件において膜中の窒素濃度が高くなっている。

図6 3は図6 1において検出器DET 1およびDET 2をそれぞれ3 0° および9 0° の検出角に設定して窒素濃度を検出した結果を示す。

図6 3よりわかるように、図6 3の縦軸は3 0° の検出角で得られる膜表面に偏析している窒素原子からのX線スペクトル強度を、9 0° の検出角で得られる膜全体に分散している窒素原子からのX線スペクトル強度の値で割ったものになっており、これを窒素偏析率と定義する。この値が1以上の場合には、表面への窒素の偏析が生じている。

図6 3を参照するに、酸化膜が紫外光励起酸素ラジカル処理により7 Åの膜厚に形成されたものの場合、窒素偏析率が1以上となり、窒素原子は当初表面に偏析し、図1中の酸窒化膜1 2 Aのような状態になっているものと考えられる。また9 0秒間の窒化処理を行った後では、膜中にほぼ一様に分布していることがわかる。また他の膜でも、9 0秒間の窒化処理で、窒素原子の膜中の分布はほぼ一様になることがわかる。

図6 4の実験では、基板処理装置2 0において、前記紫外光ラジカル酸化処理およびリモートプラズマ窒化処理を、1 0枚のウェハ (ウェハ# 1 ~ウェハ# 1 0) について繰り返し実行した。図6 4は、このようにして得られた酸窒化膜のウェハ毎の膜厚変動を示す。ただし図6 4の結果は、基板処理装置2 0において

紫外線光源 86, 87 を駆動して行う紫外光ラジカル酸化処理の際、XPS 測定により求めた酸化膜の膜厚が 0.4 nm になるように酸化膜を形成し、次いでこのようにして形成された酸化膜を、前記リモートプラズマ部 27 を駆動して行う窒化処理により、窒素原子を約 4 % 含む酸窒化膜に変換した場合についてのもの
5 である。

図 64 を参照するに、縦軸は、このようにして得られた酸窒化膜についてエリブソメトリにより求めた膜厚を示すが、図 64 よりわかるように得られた膜厚はほぼ 8 Å (0.8 nm) で、一定していることがわかる。

図 65 は、基板処理装置 20 により膜厚が 0.4 nm の酸化膜をシリコン基板上に紫外線光源 86, 87 を使ったラジカル酸化処理により形成した後、これを
10 リモートプラズマ部 27 により窒化した場合の、窒化による膜厚増を調べた結果を示す。

図 65 を参照するに、当初 (窒化処理を行う前) 膜厚が約 0.38 nm であった酸化膜は、窒化処理により 4 ~ 7 % の窒素原子を導入された時点で膜厚が約 0.
15 5 nm まで増大しているのがわかる。一方、窒化処理により窒素原子を約 15 % 導入した場合には膜厚は約 1.3 nm まで増大しており、この場合には導入された窒素原子が酸化膜を通過してシリコン基板中に侵入し、窒化膜を形成しているものと考えられる。

図 65 中には、厚さが 0.4 nm の酸化膜中に窒素を一層分だけ導入した理想的なモデル構造についての窒素濃度と膜厚との関係を ▲ で示している。
20

図 65 を参照するに、この理想的なモデル構造では、窒素原子導入後の膜厚が約 0.5 nm となり、その場合の膜厚の増加は約 0.1 nm, 窒素濃度は約 12 % となる。このモデルを基準とすると、基板処理装置 20 により酸化膜の窒化を行う場合、膜厚増は同程度の 0.1 ~ 0.2 nm に抑制するのが好ましいことが結
25 論される。またその際に膜中に取り込まれる窒素原子の量は、最大で 12 % 程度になると見積もられる。

なお、以上の説明では、基板処理装置 20 を使って非常に薄いベース酸化膜を形成する例を説明したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、シリコン基板あるいはシリコン層上に高品質の酸化膜、窒化膜あるいは酸窒

化膜を、所望の膜厚に形成するのに適用することが可能である。

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明は上記の特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において様々な変形・変更が可能である。

請求の範囲

1. 内部に処理空間が画成された処理容器と、
前記処理空間に挿入された被処理基板を所定温度に加熱するヒータ部と、
5 前記ヒータ部の上方に前記被処理基板を保持する保持部材と、
を備えており、
前記ヒータ部は、石英により形成された透明ケースの内部に発熱体を収納させたことを特徴とする基板処理装置。
2. クレーム 1 記載の基板処理装置において、
10 前記処理容器の内部を減圧すると共に、前記透明ケースの内部空間を減圧する減圧手段を備えたことを特徴とする基板処理装置。
3. クレーム 1 記載の基板処理装置において、
前記透明ケースの上面に前記発熱体により加熱される S i C 製の加熱板を設け、
該加熱板の上面が前記保持部材に保持された前記被処理基板の下面に近接対向す
15 ることを特徴とする基板処理装置。
4. クレーム 1 記載の基板処理装置において、
前記発熱体は、被処理基板に
前記保持部材の軸を中心とする円形状に形成された第 1 の S i C 発熱部と、
前記第 1 の発熱部の外周を囲むように形成された第 2、3 の S i C 発熱部と、
20 を有し、
前記第 1 の S i C 発熱部または前記第 2、3 の S i C 発熱部の何れか一方、あるいは両方への電源供給を選択的に切り替えることを特徴とする基板処理装置。
5. クレーム 1 記載の基板処理装置において、
前記透明ケースは、ベース上に設けられ、
25 前記ベース上に当接する円筒部と、
該円筒部の上面を覆う天板とを有し、
前記ベースとともに内部空間を覆うように形成されたことを特徴とする基板処理装置。
6. クレーム 1 記載の基板処理装置において、

前記保持部材は、透明石英により形成された複数の腕部を有し、

該複数の腕部により前記被処理基板の下面を支持することを特徴とする基板処理装置。

7. クレーム 3 記載の基板処理装置において、

- 5 前記加熱板は、前記保持部材の複数の腕部に支持された前記被処理基板の下面に対向するように前記透明ケースの天板に載置されたことを特徴とする基板処理装置。

8. クレーム 1 記載の基板処理装置において、

- 10 前記発熱体の下方に前記発熱体からの熱を上方に反射する熱反射部材を設けたことを特徴とする基板処理装置。

9. クレーム 8 記載の基板処理装置において、

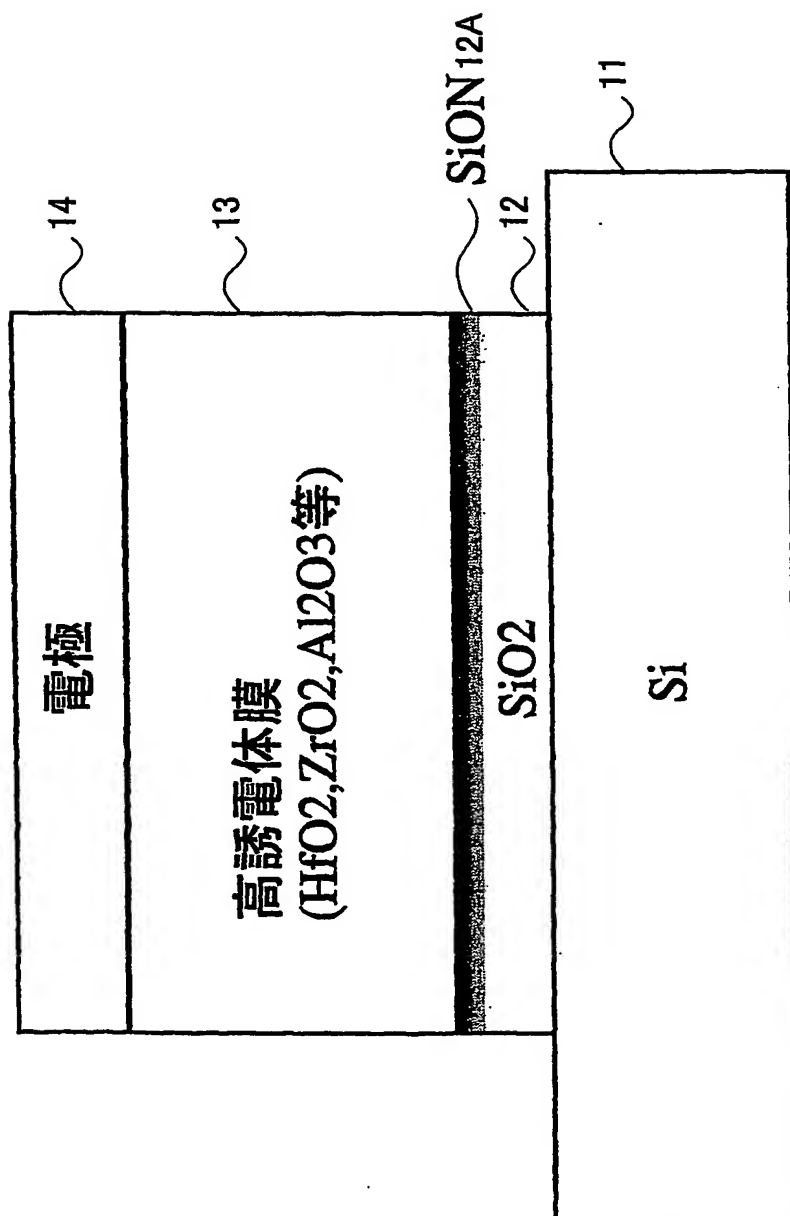
前記熱反射部材は、前記発熱体の下方に対向した状態でクランプされたことを特徴とする基板処理装置。

10. クレーム 5 記載の基板処理装置において、

- 15 前記透明ケースは、前記円筒部の周方向に沿うように冷却水が供給される水路を有することを特徴とする基板処理装置。

FIG.1

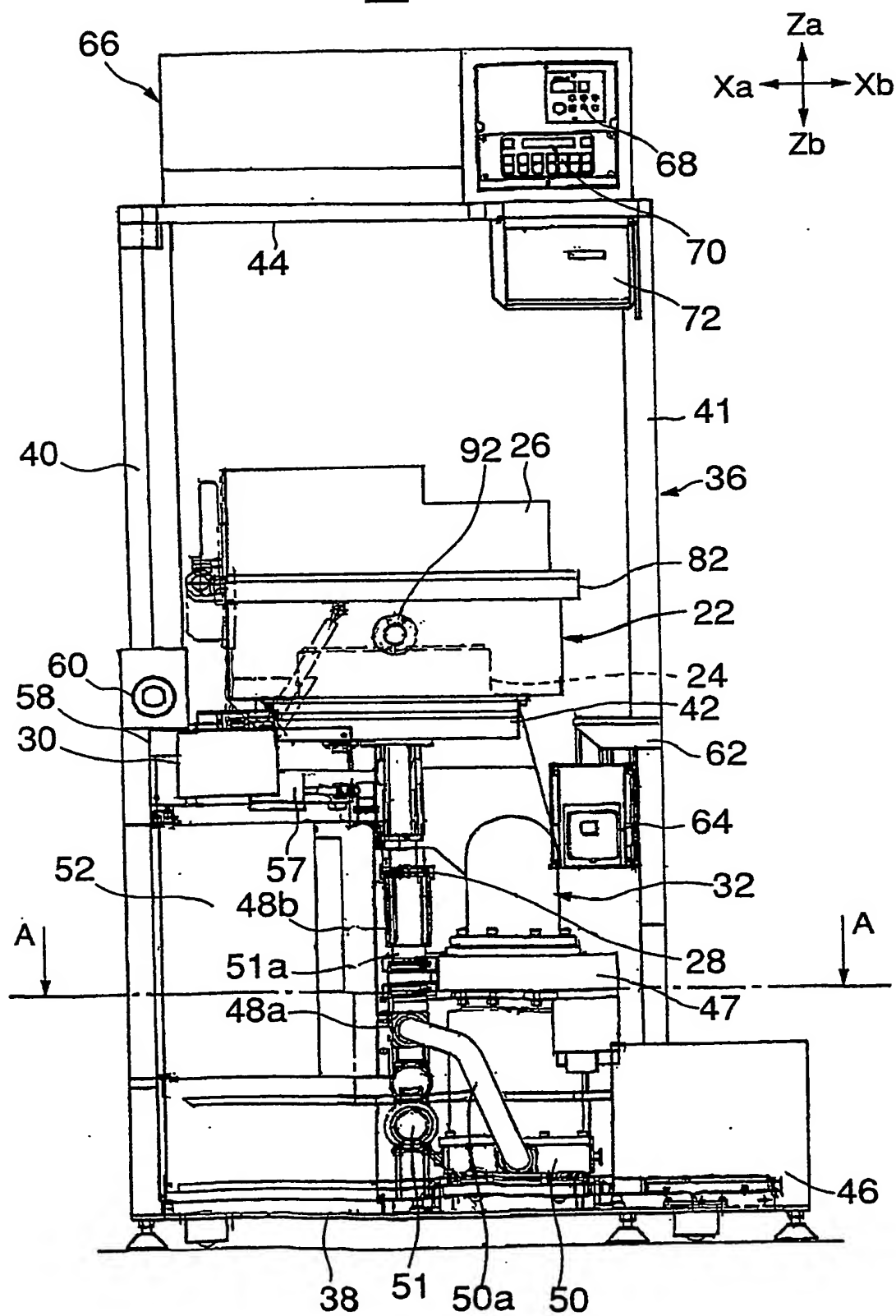
10



2/65

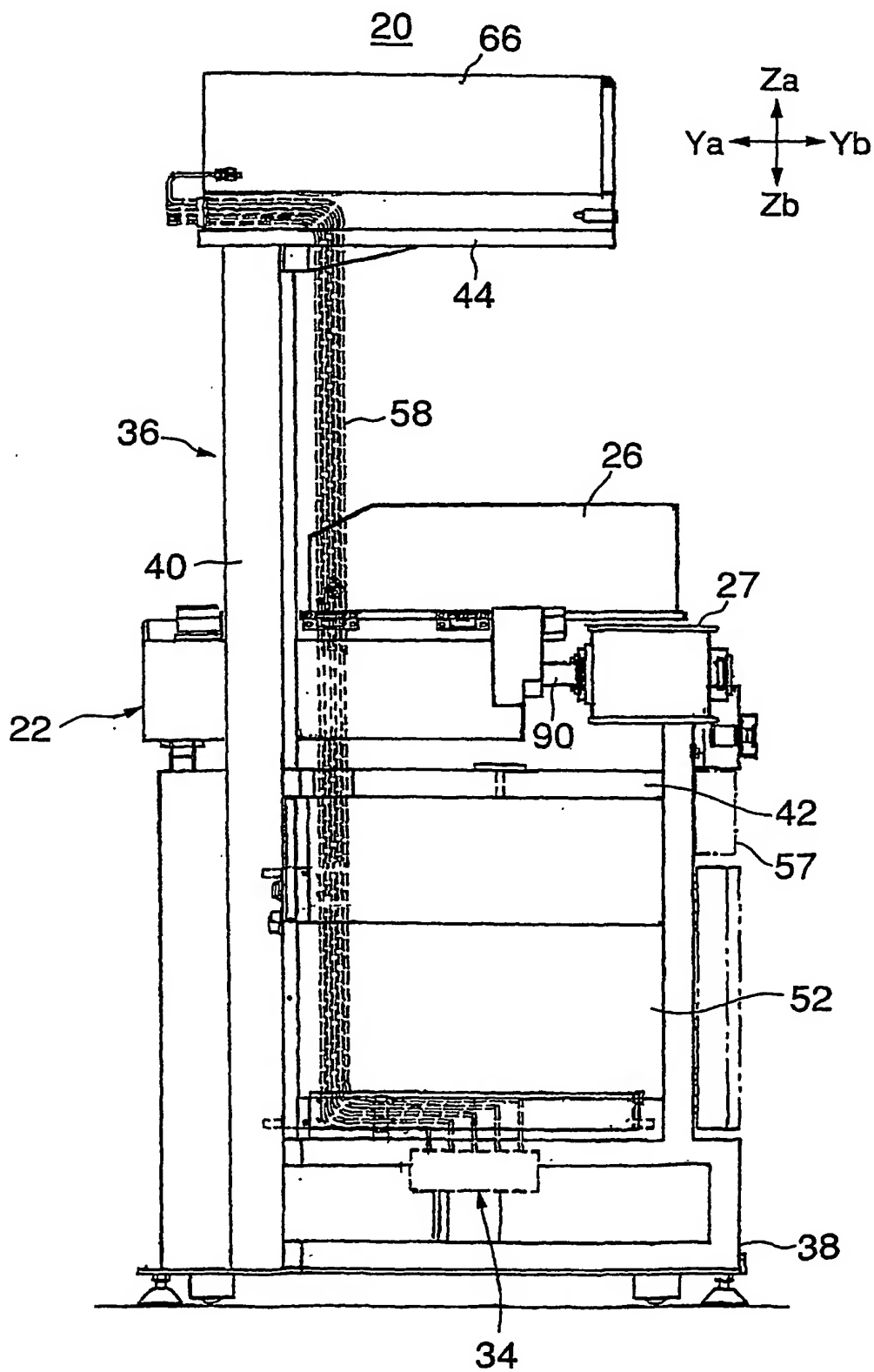
FIG.2

20



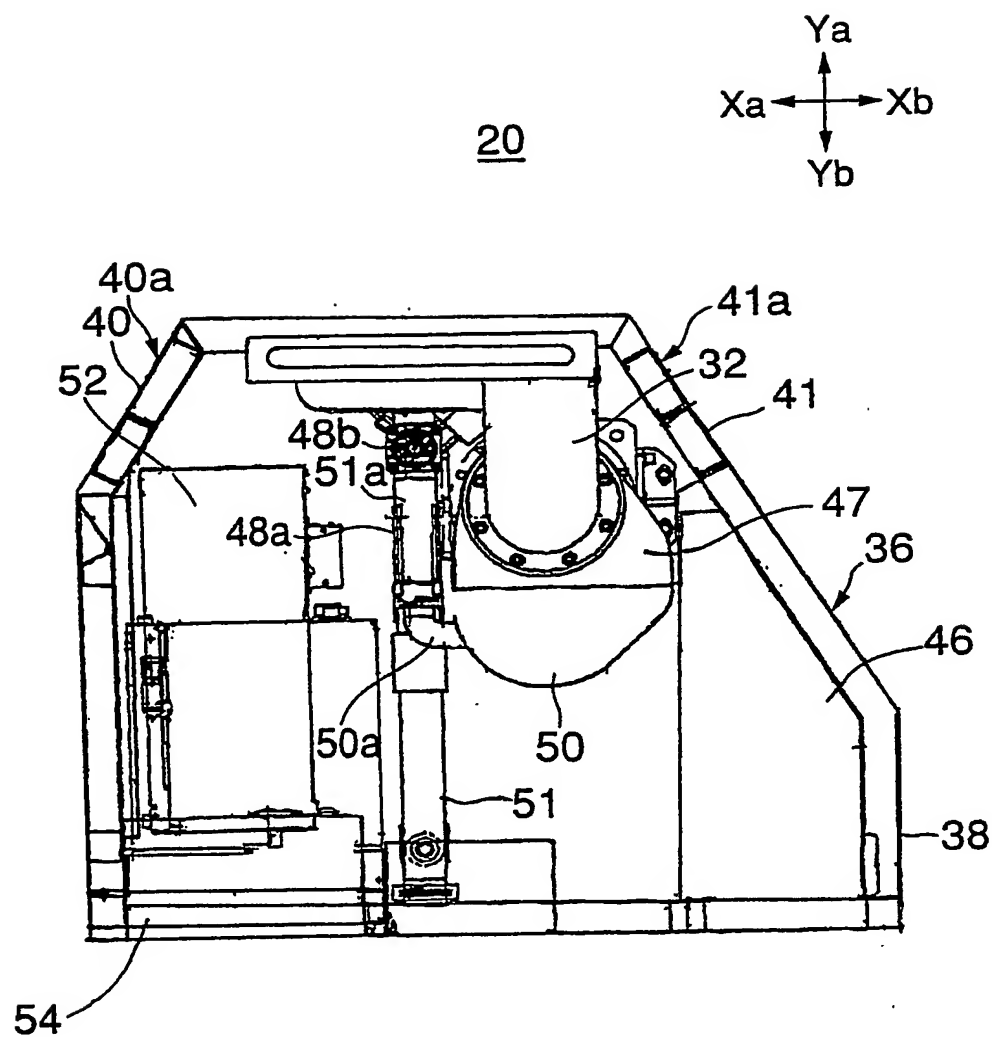
3/65

FIG.3



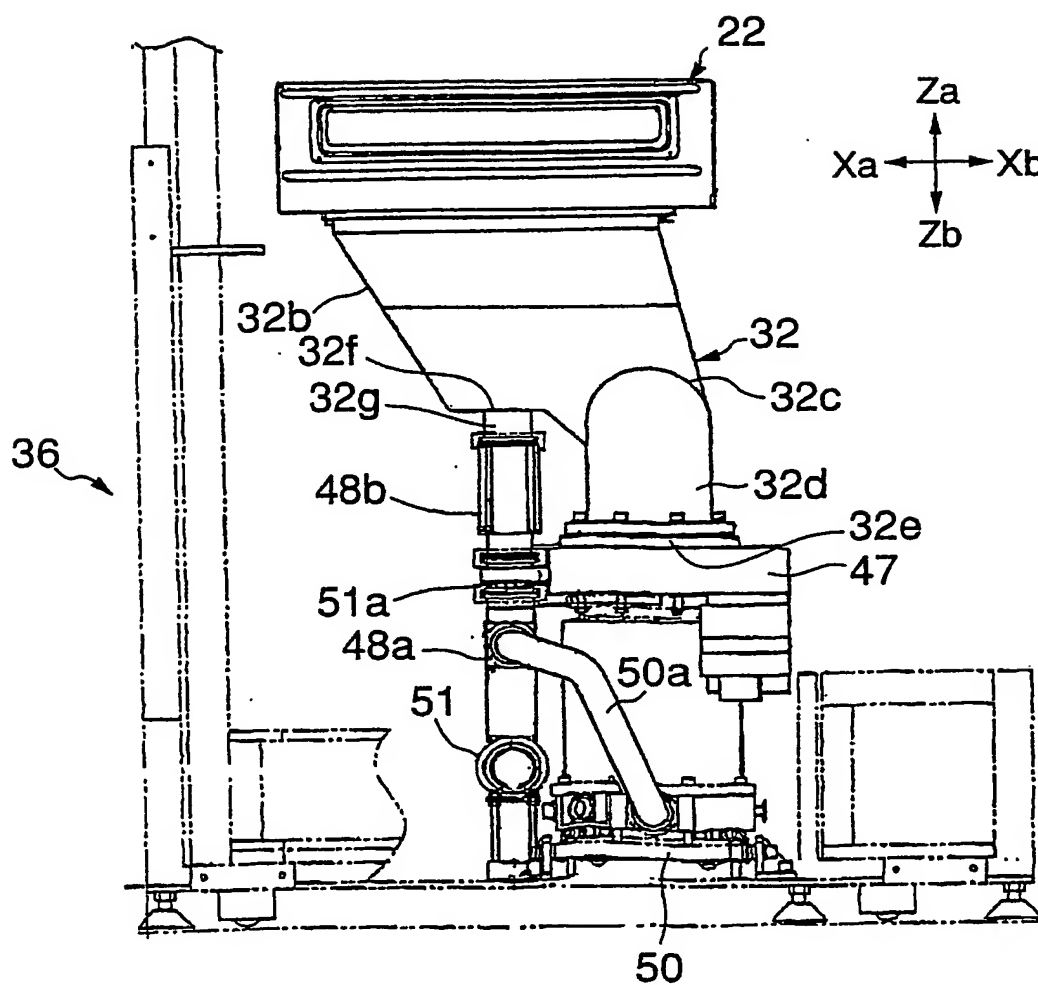
4/65

FIG.4



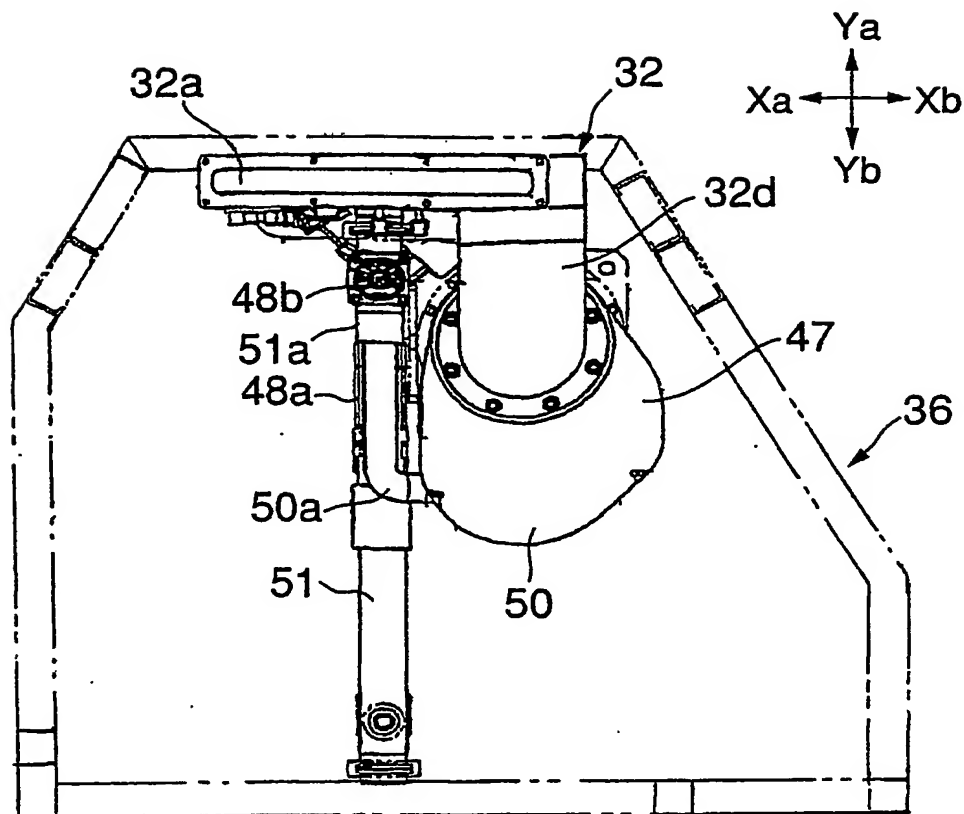
5/65

FIG.5



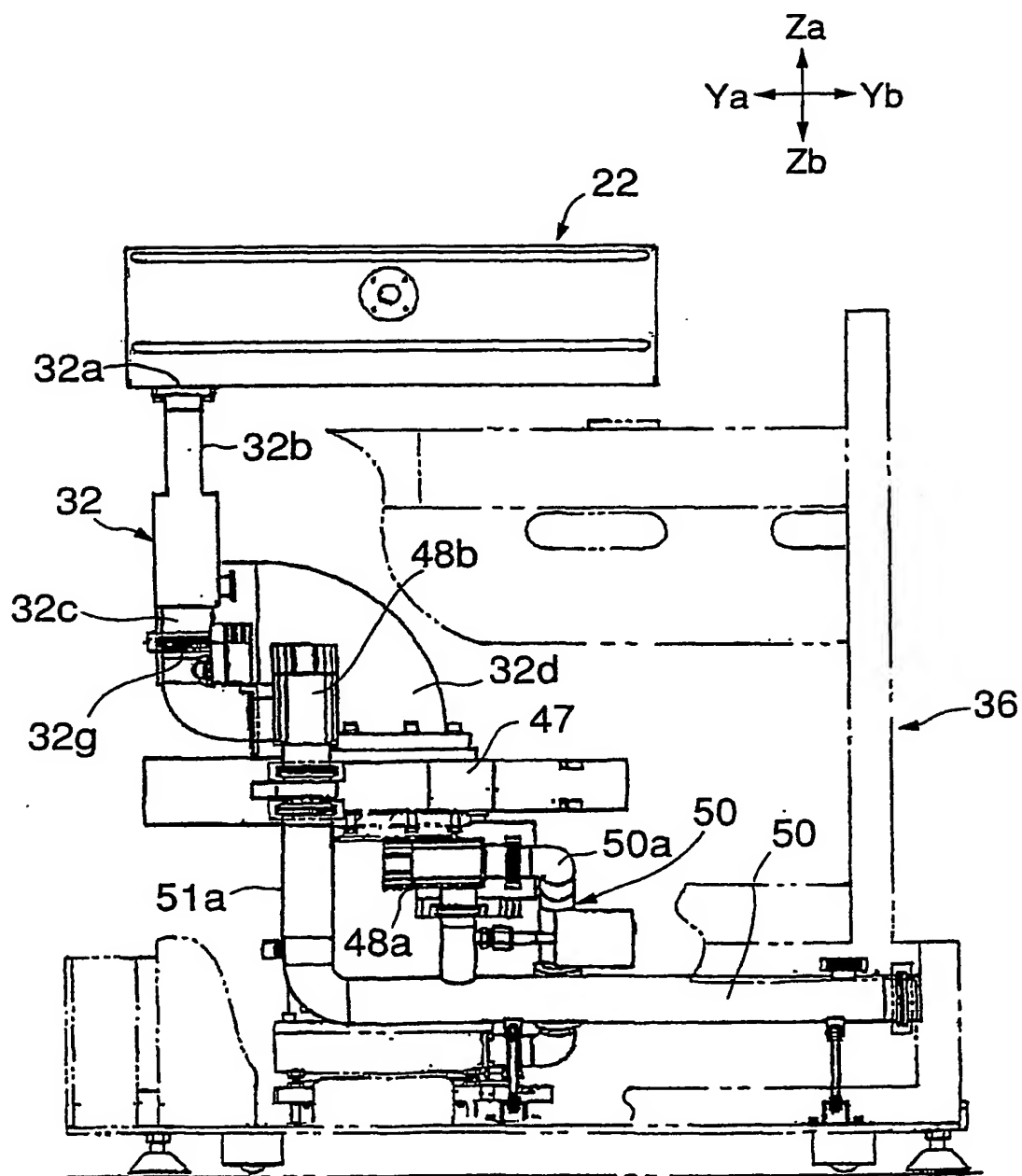
6/65

FIG.6



7/65

FIG. 7



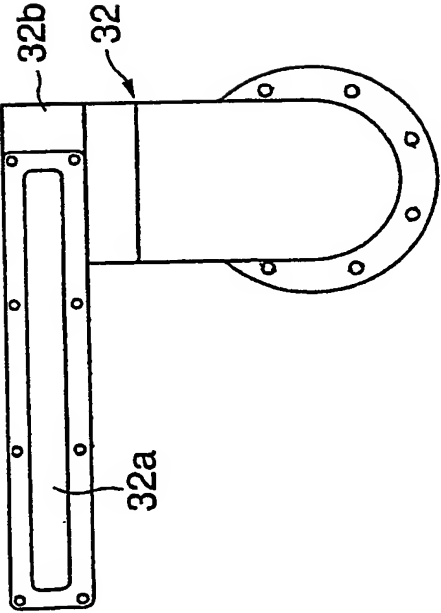


FIG. 8A

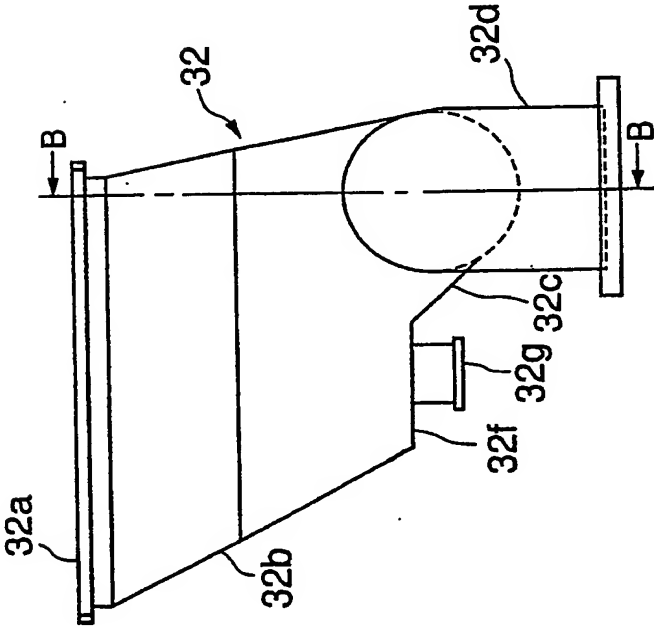


FIG. 8B

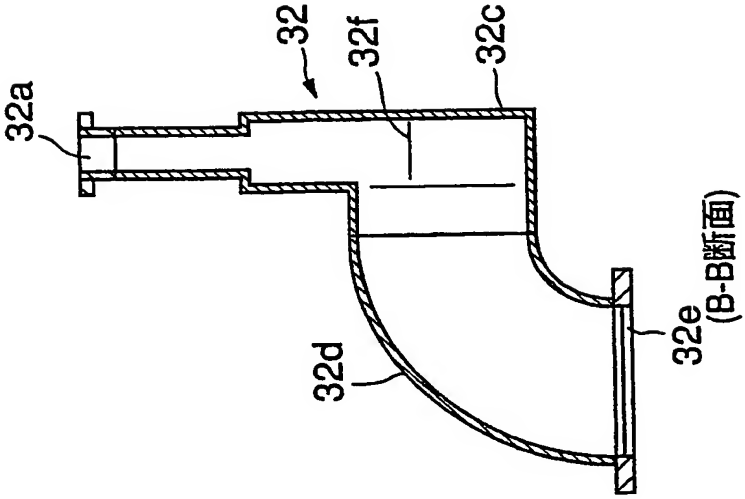
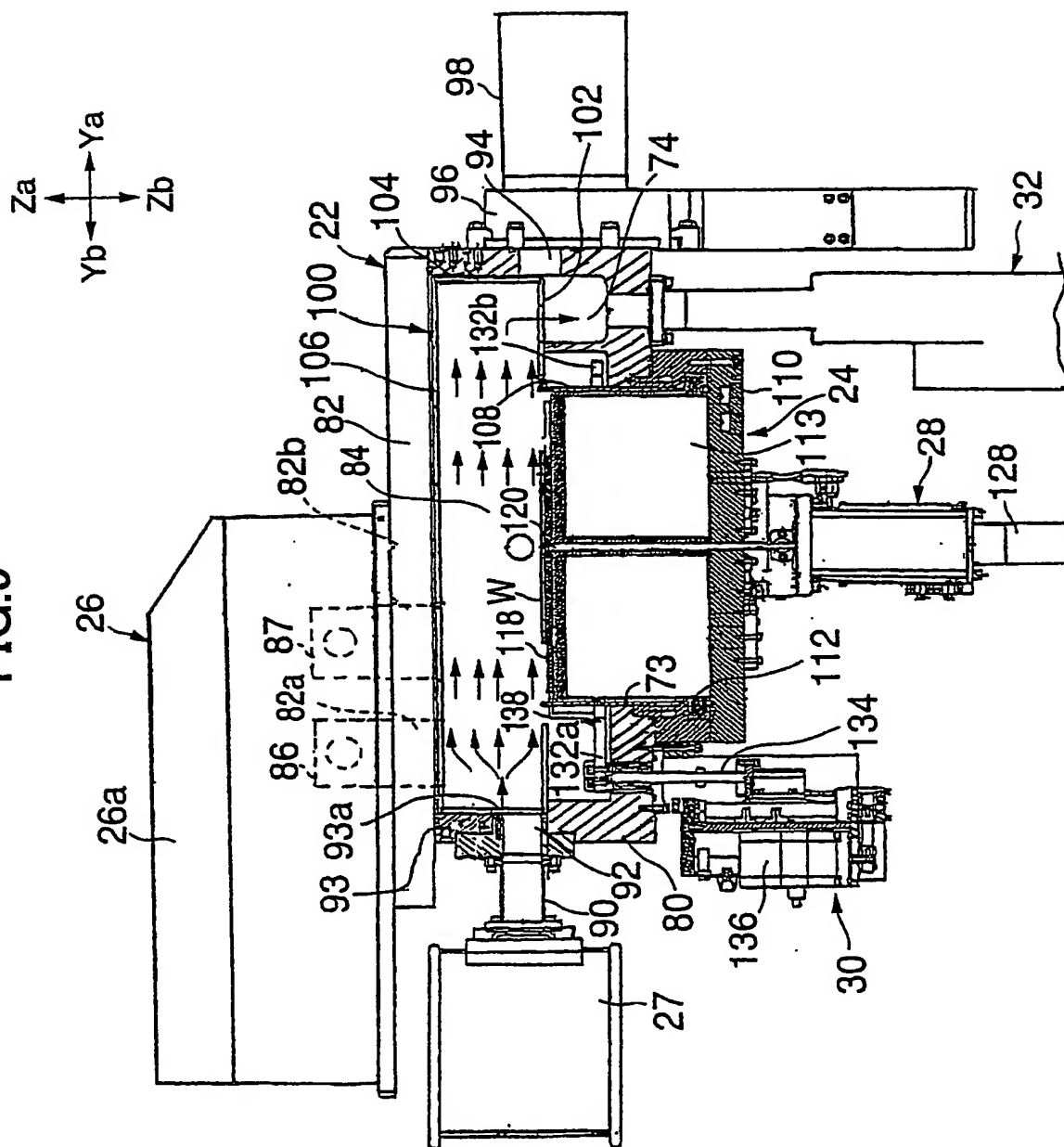


FIG. 8C

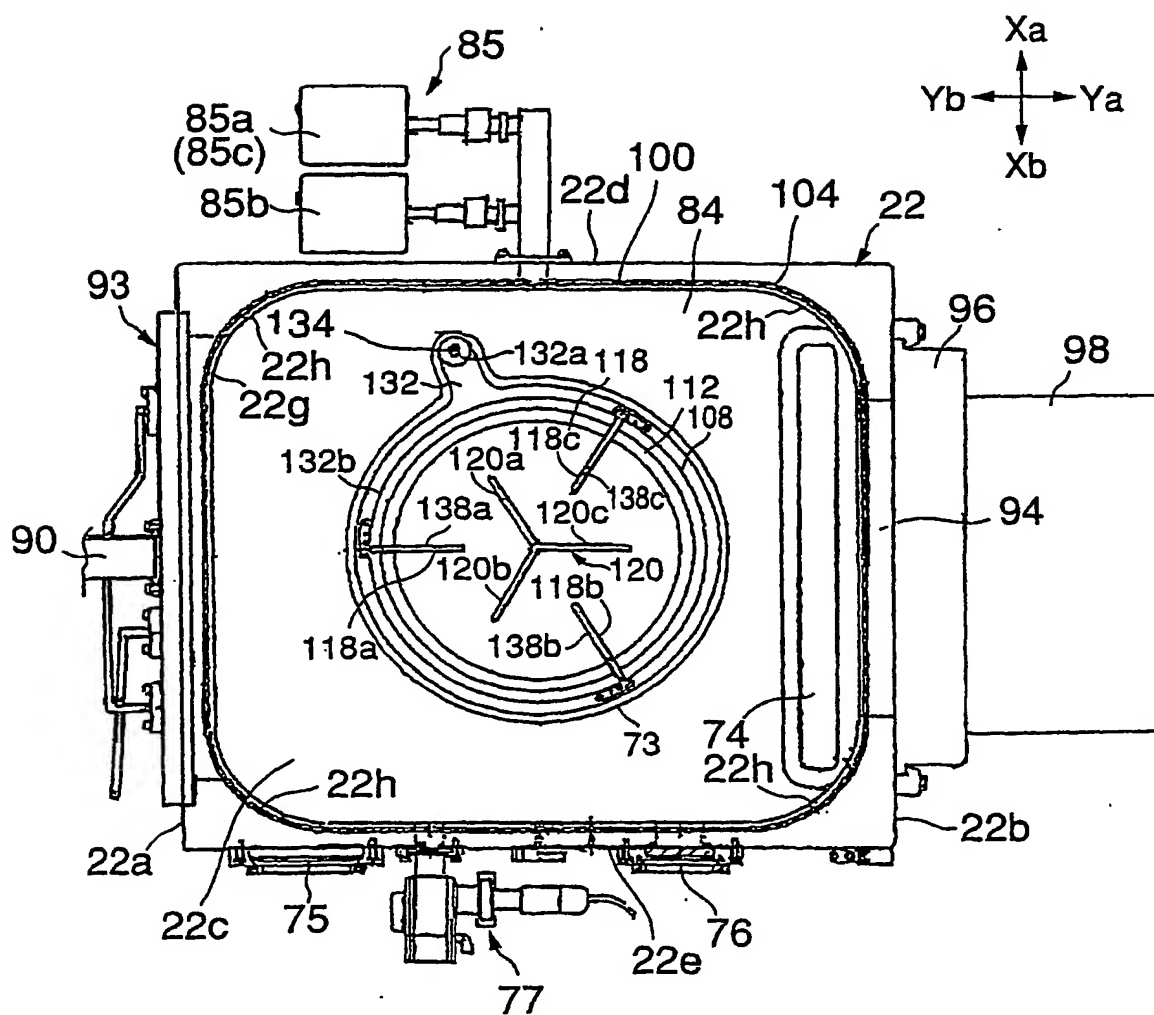
9/65

FIG.9



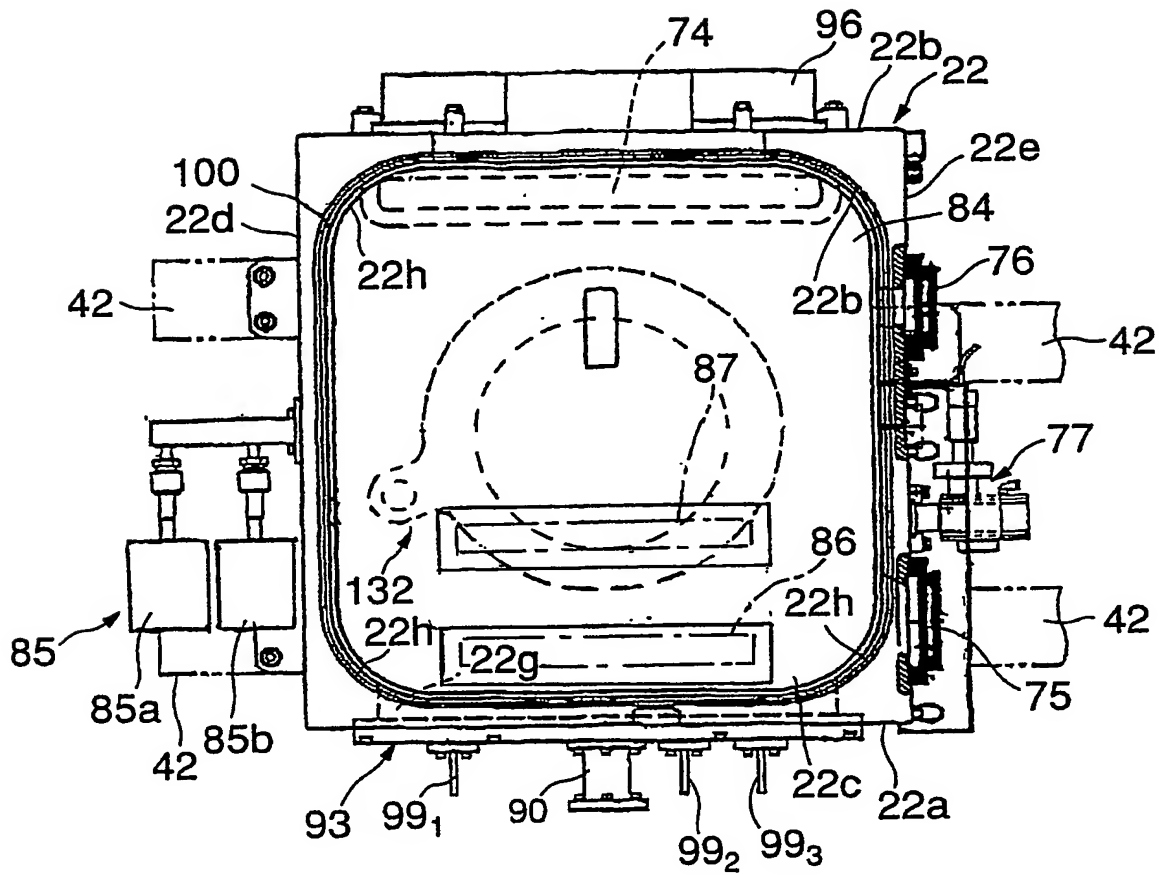
10/65

FIG.10



11/65

FIG.11



12/65

FIG.12

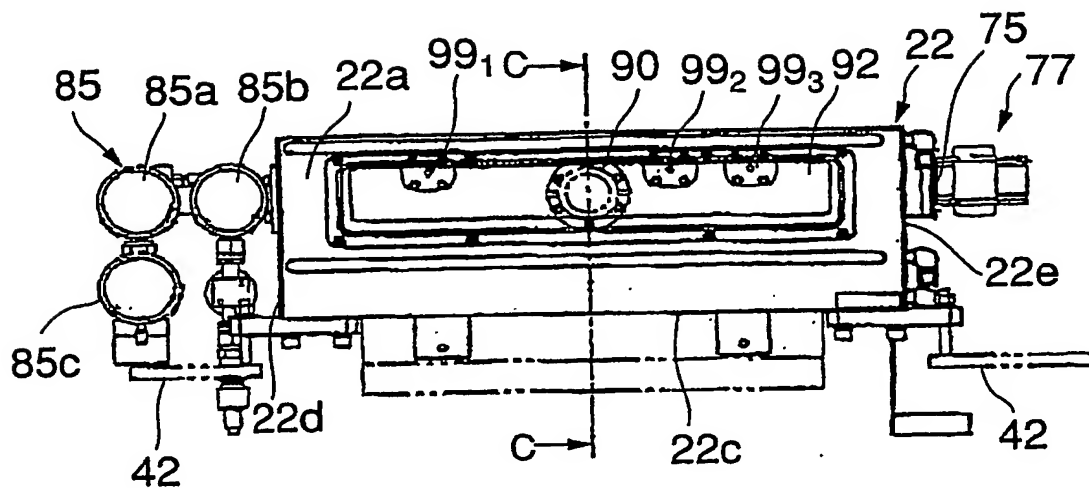


FIG.13

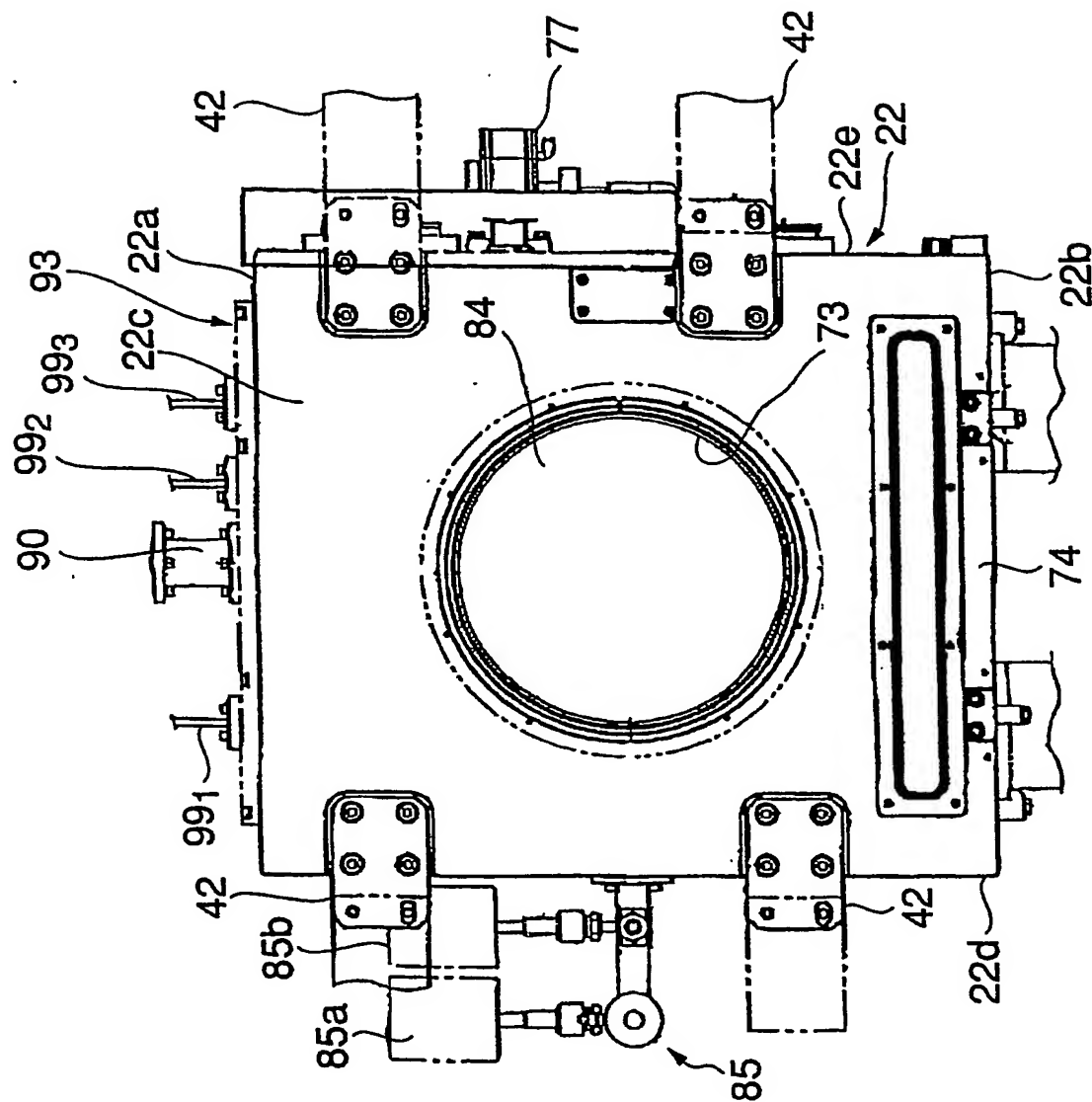
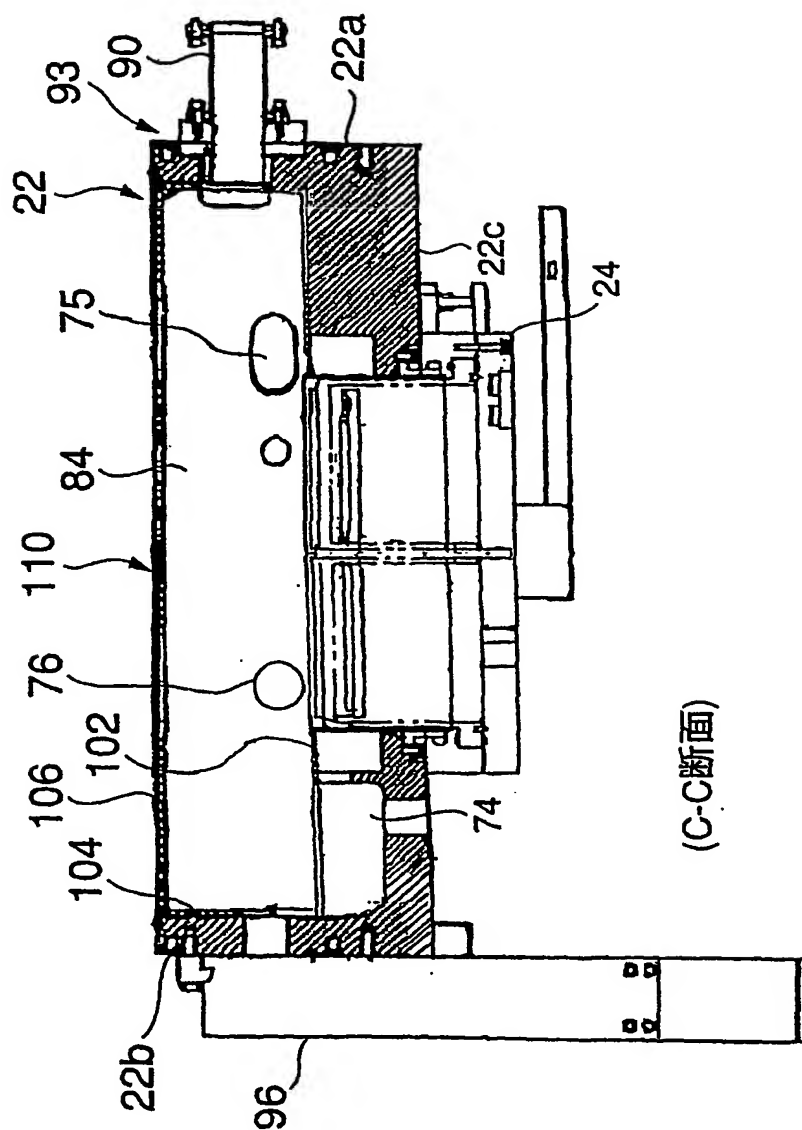


FIG.14



(C-C断面)

15/65

FIG.15

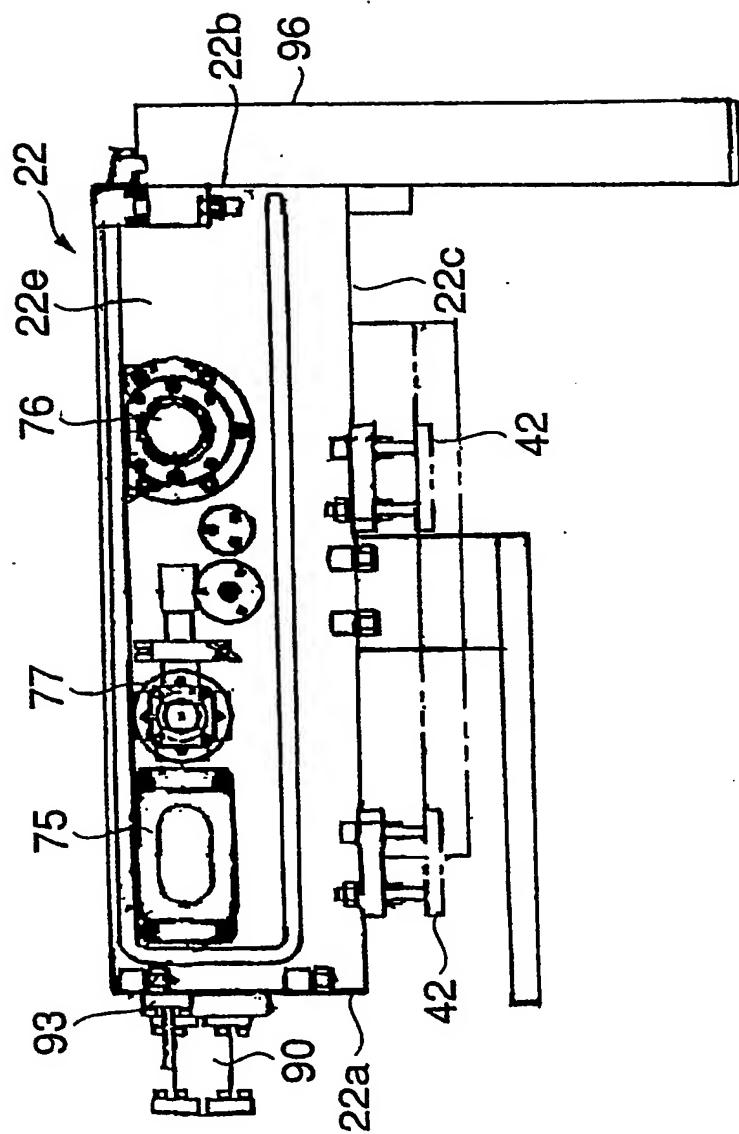
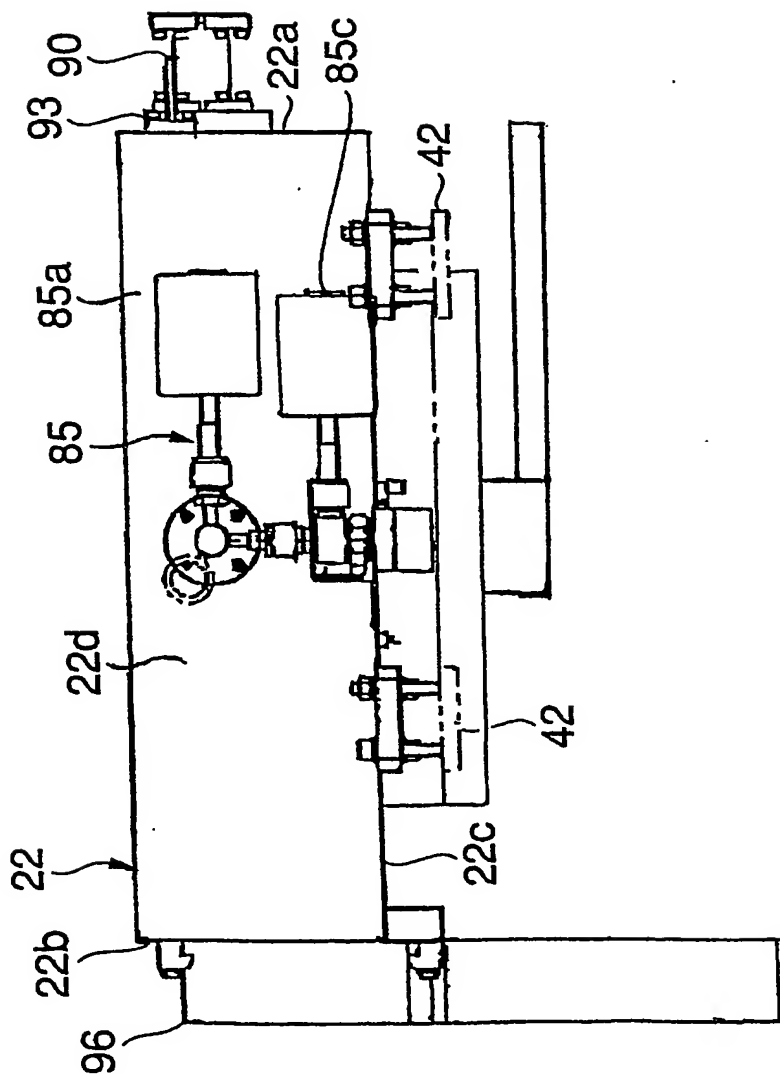
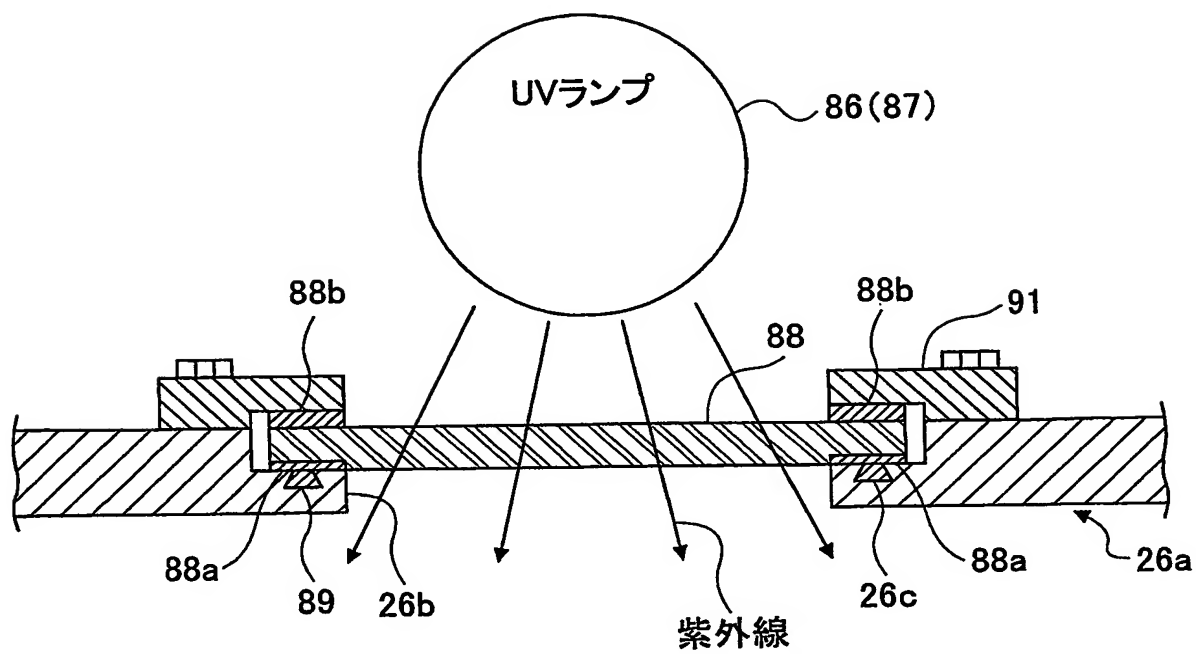


FIG.16



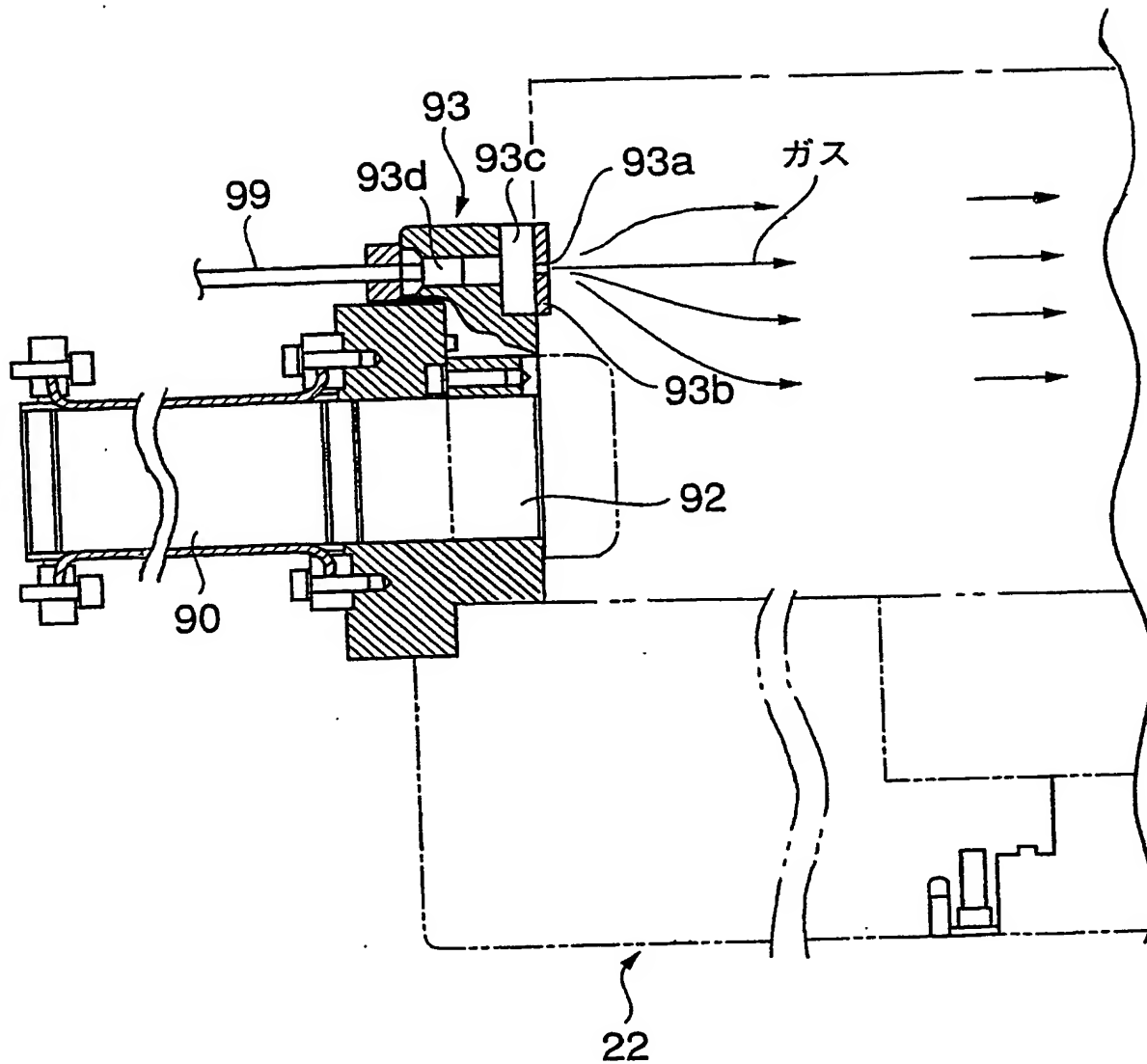
17/65

FIG.17



18/65

FIG.18



20/65

FIG.20

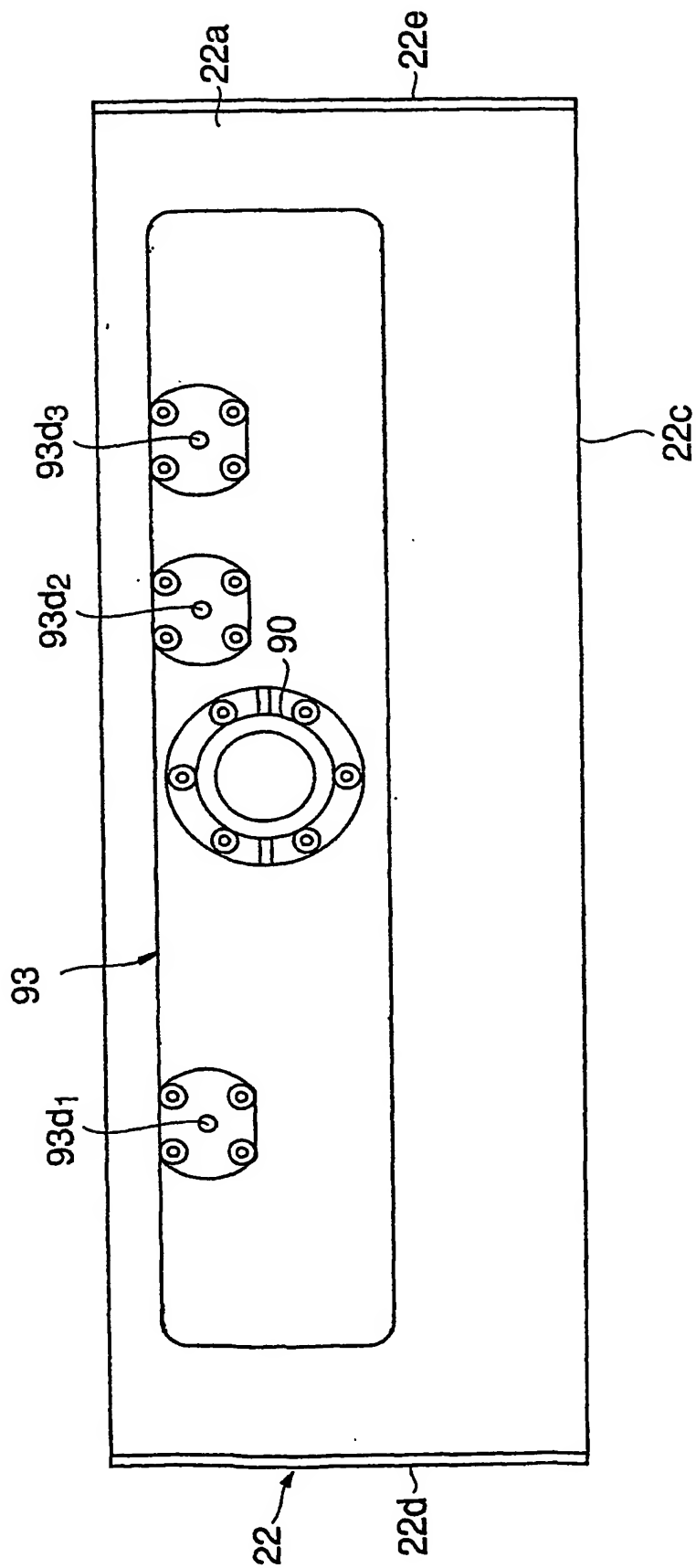
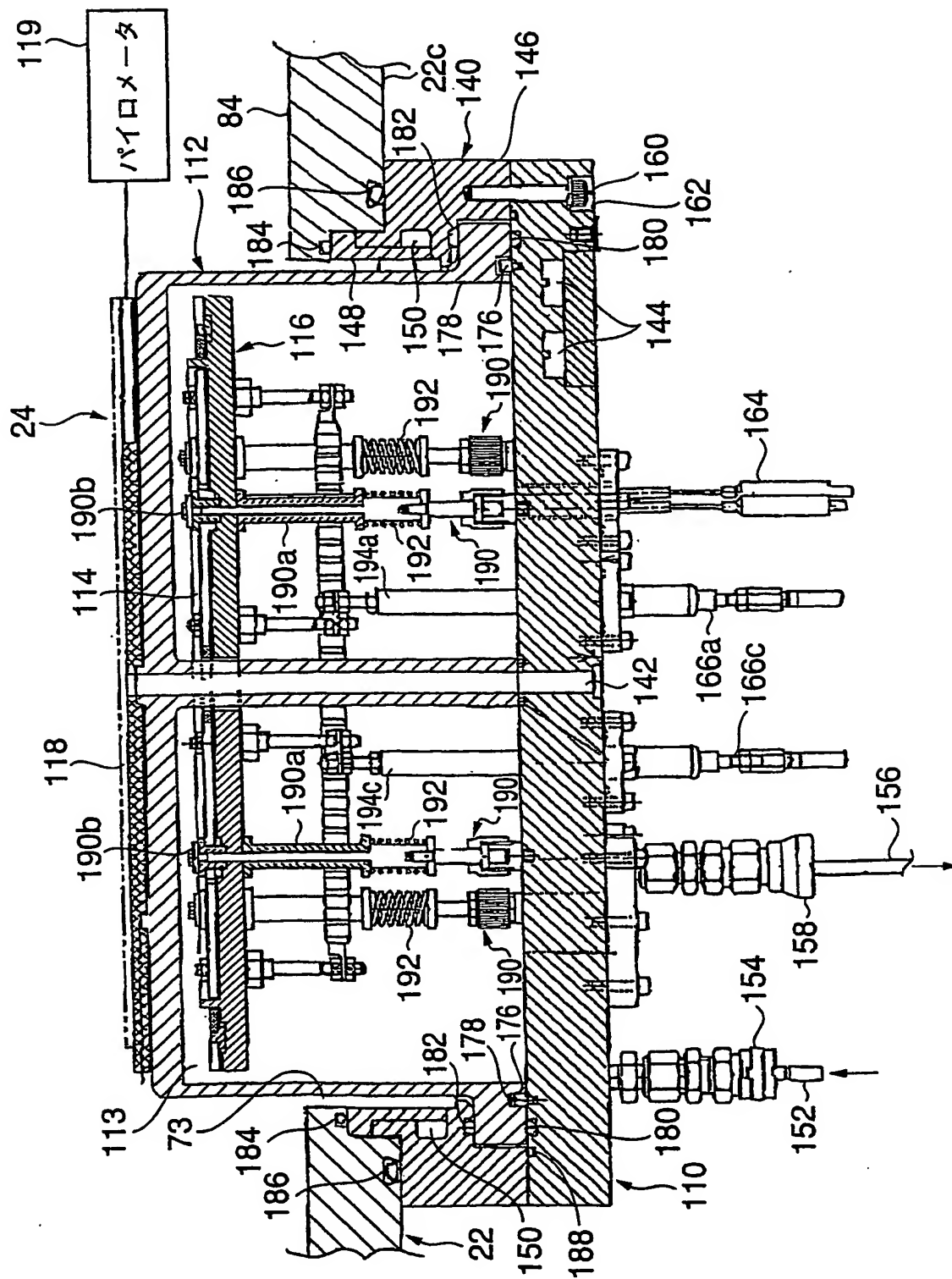
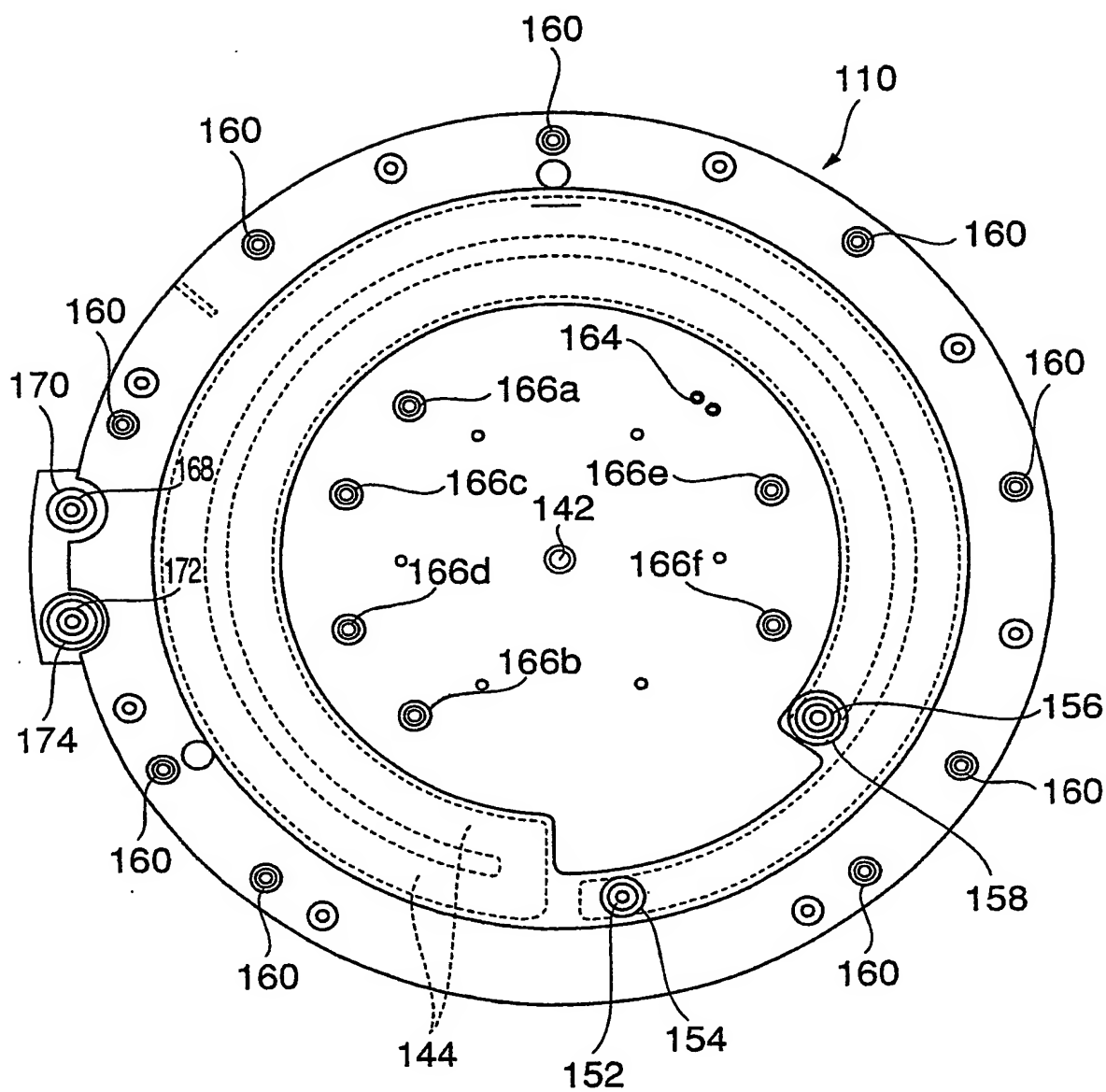


FIG.21



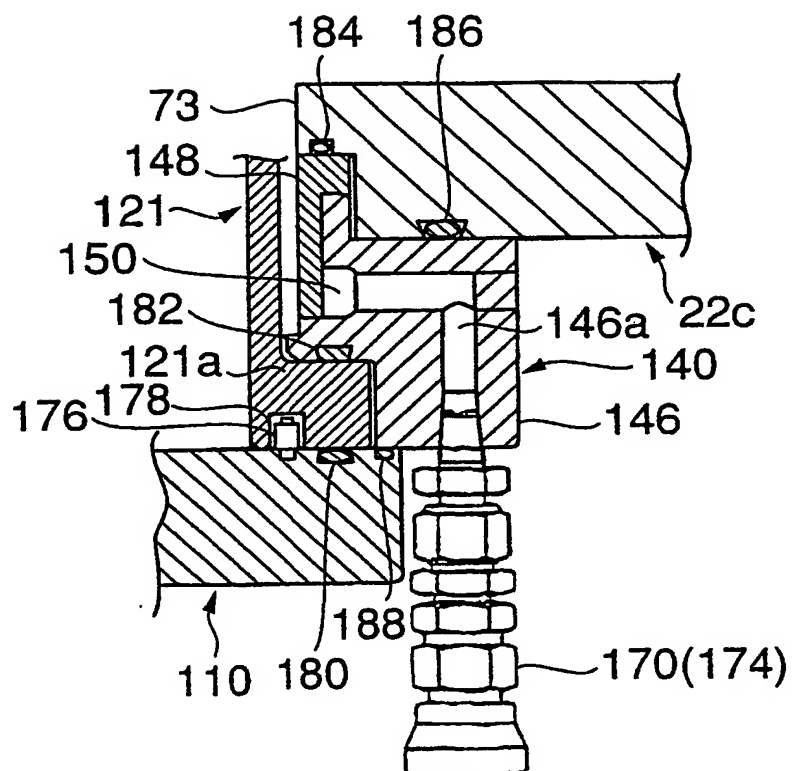
22/65

FIG.22



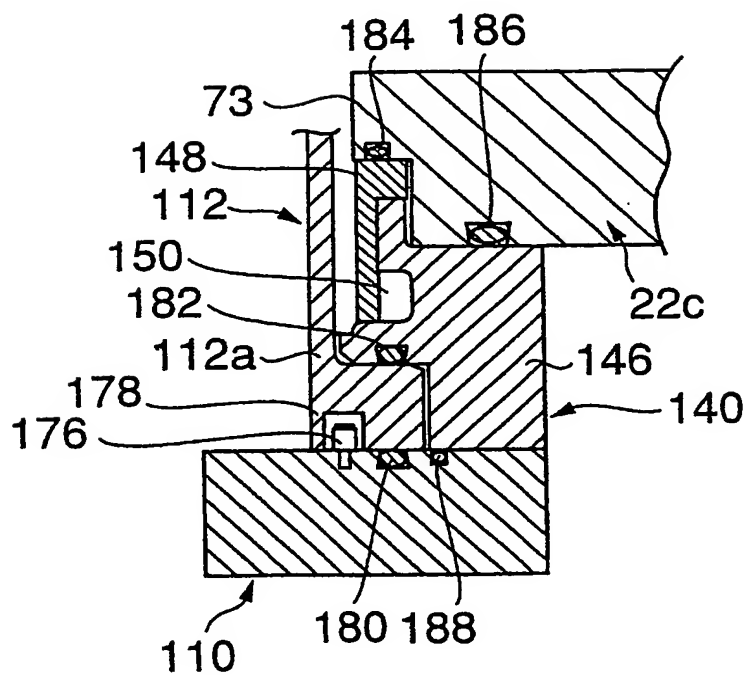
23/65

FIG.23



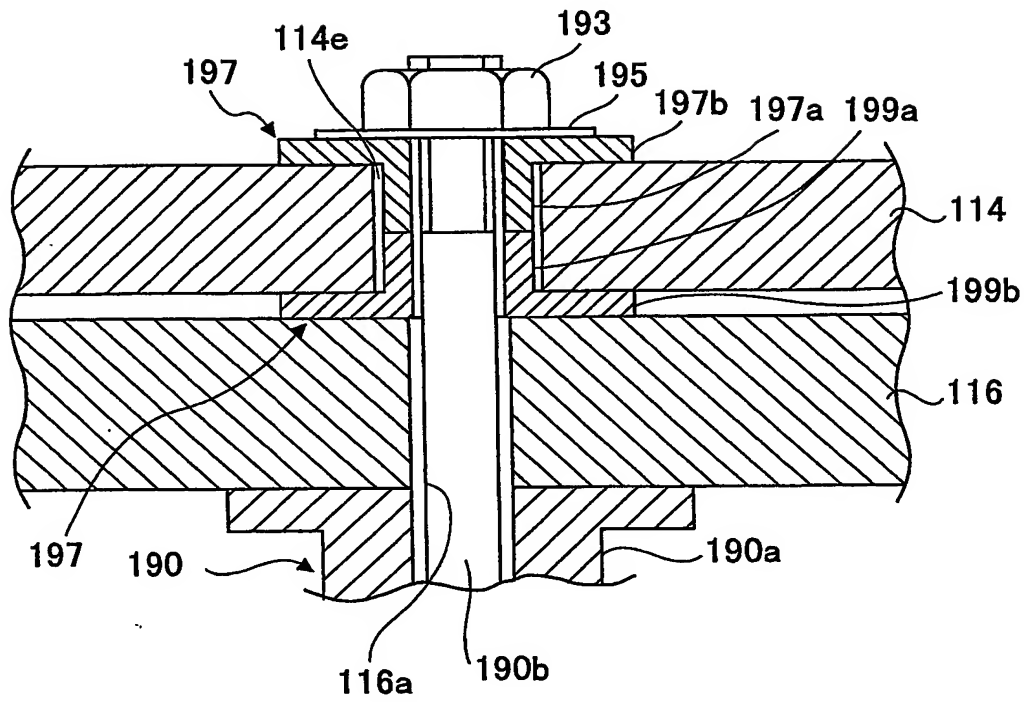
24/65

FIG.24



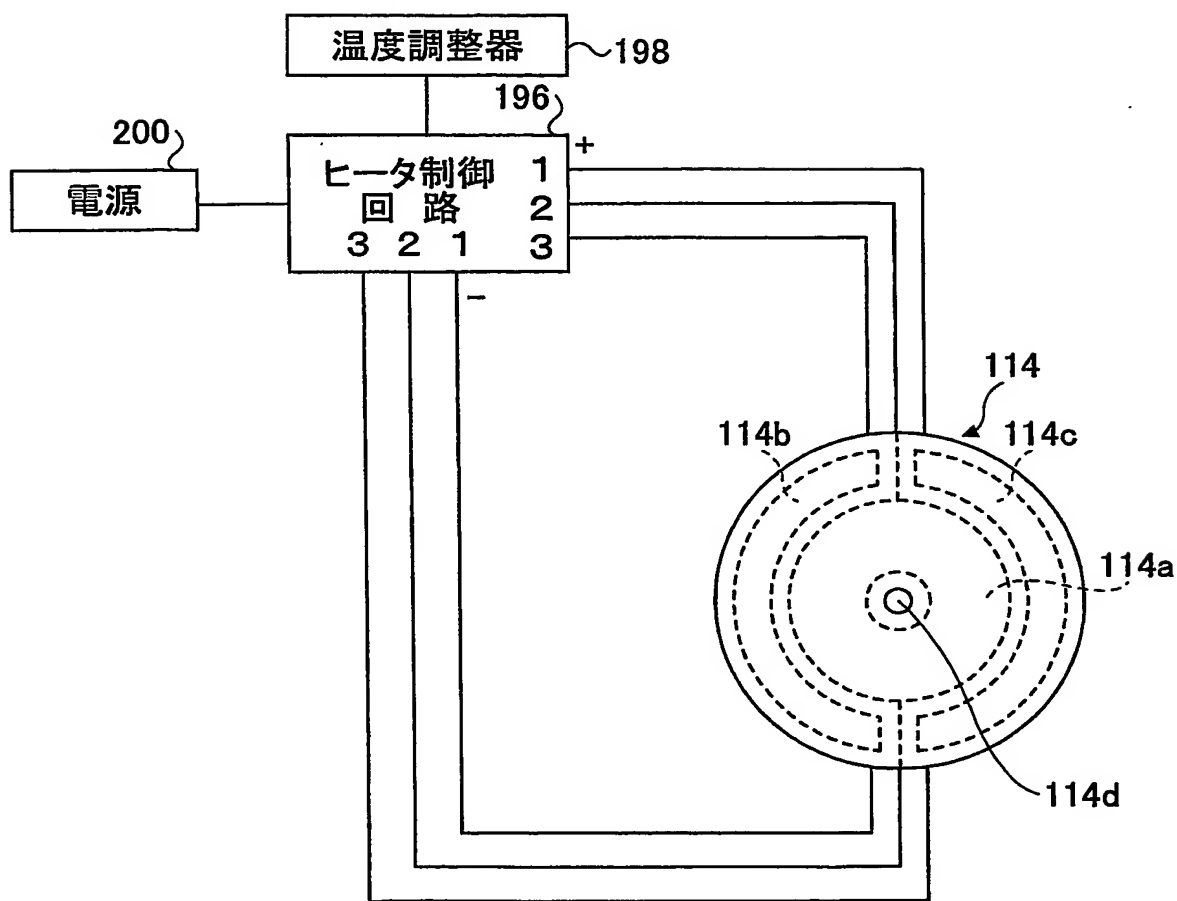
25/65

FIG.25



26/65

FIG.26



27/65

FIG.27A

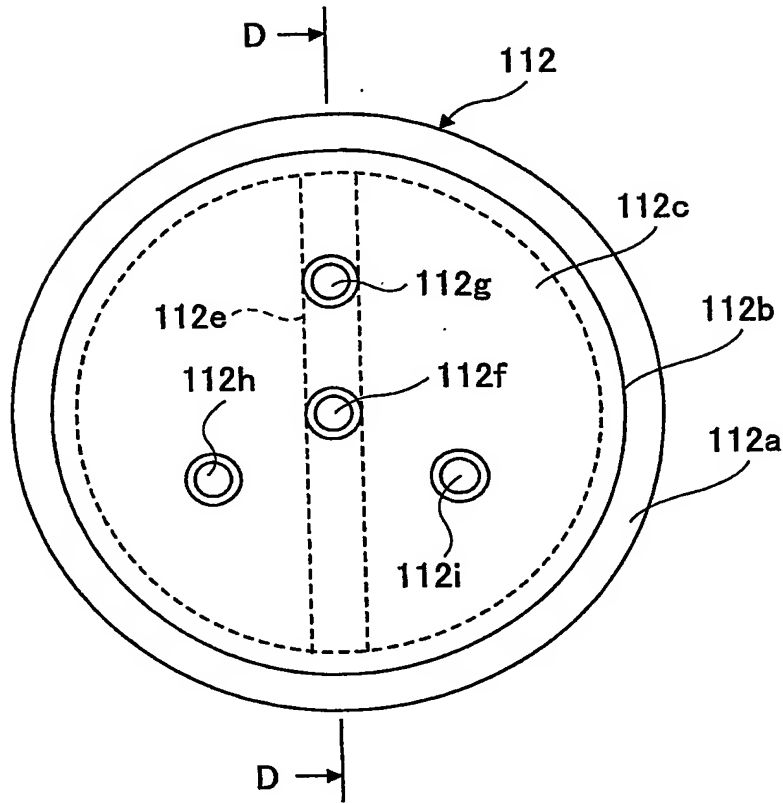
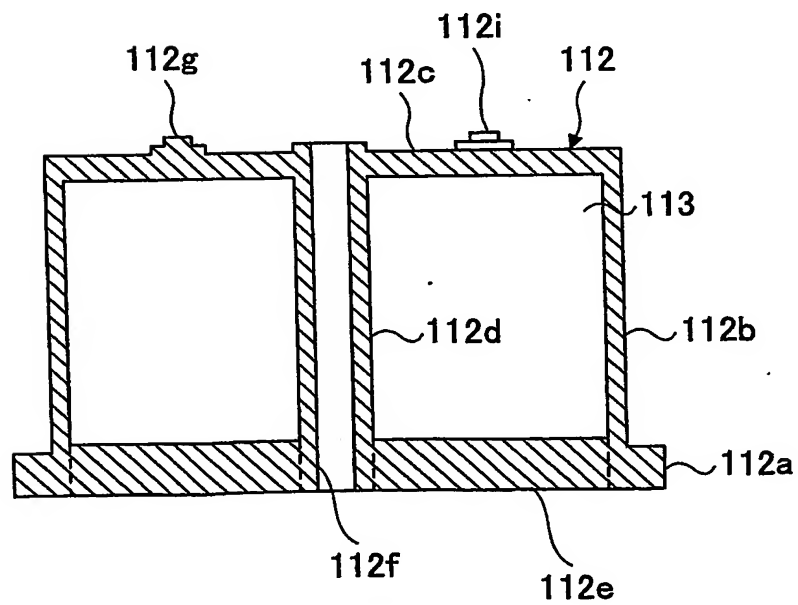


FIG.27B



(D-D断面)

28/65

FIG.28A

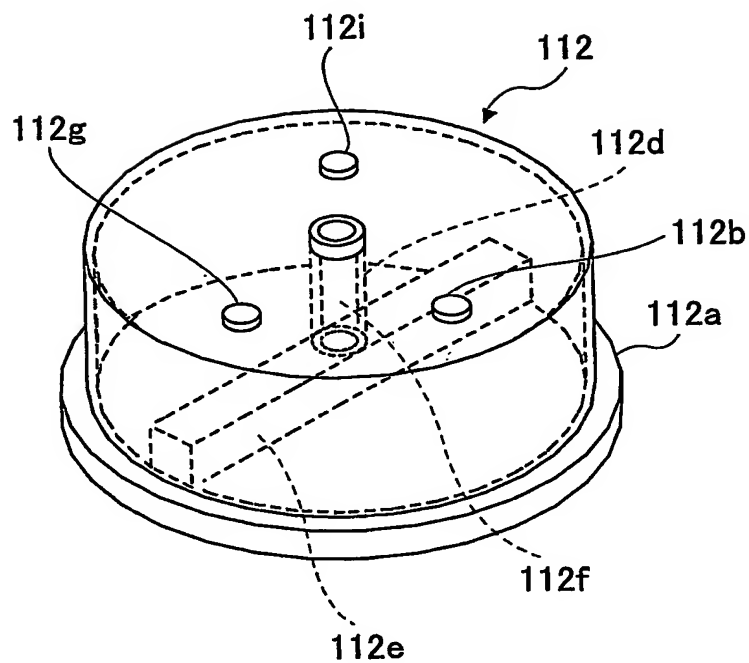
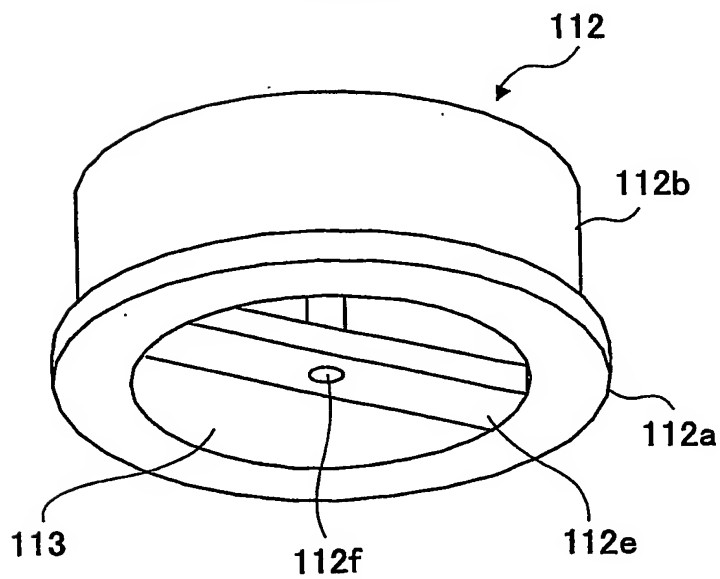
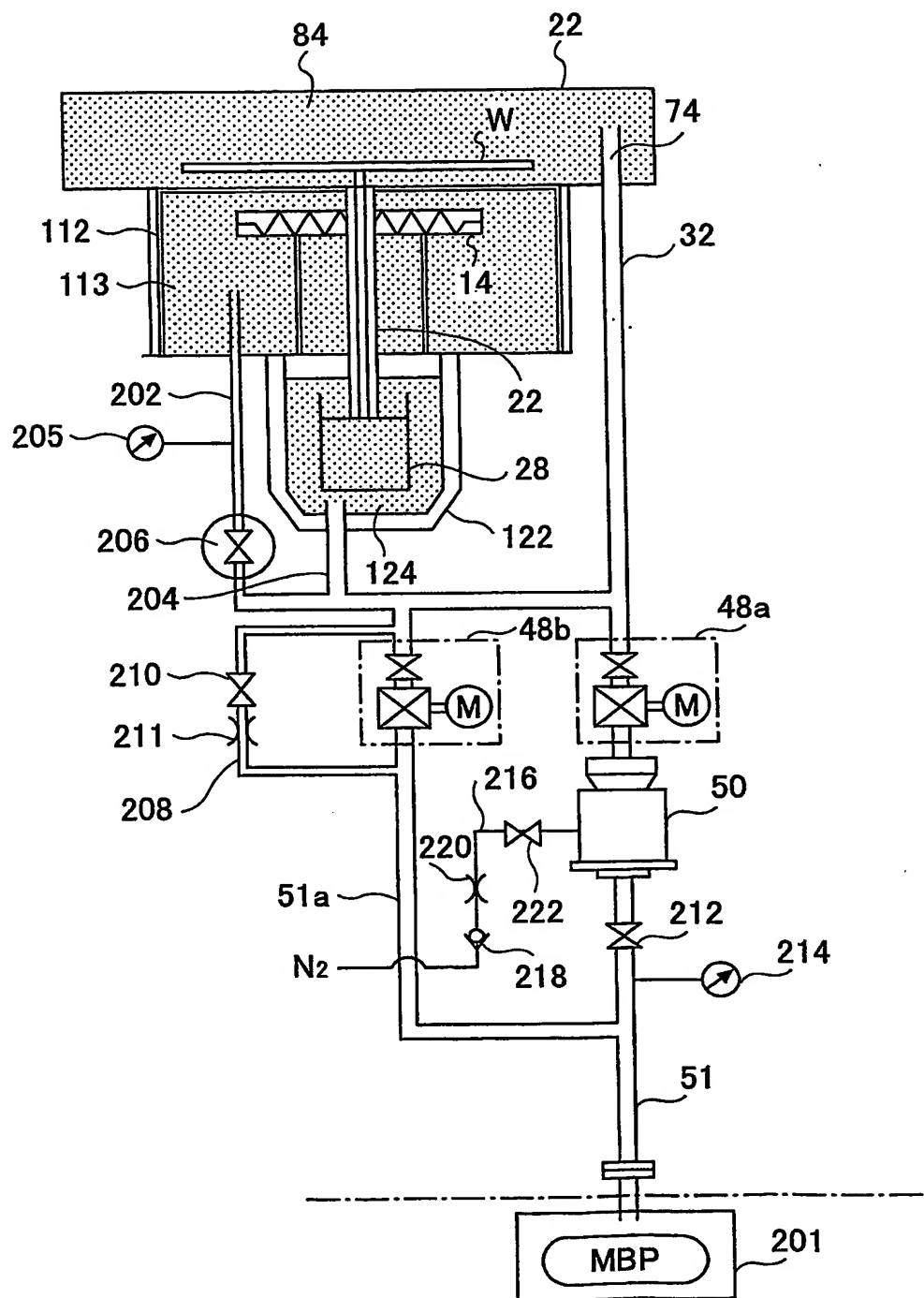


FIG.28B



29/65

FIG.29



30/65

FIG.30A

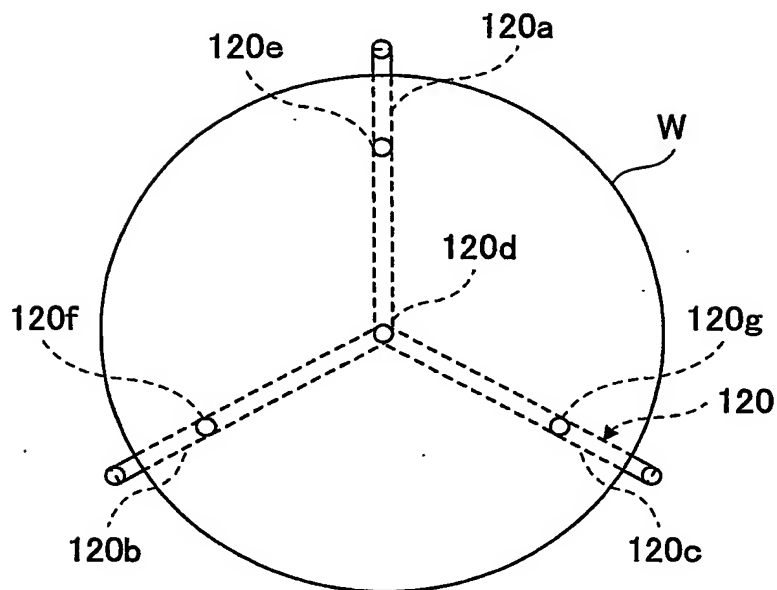
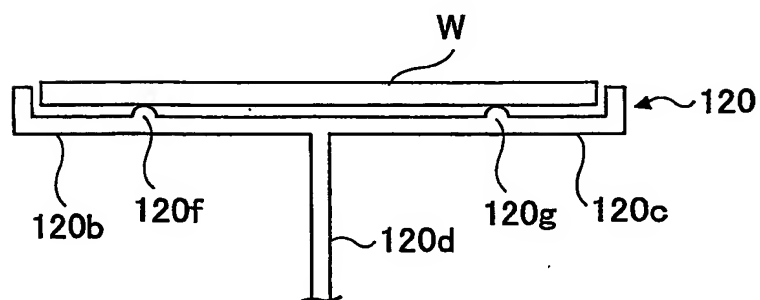
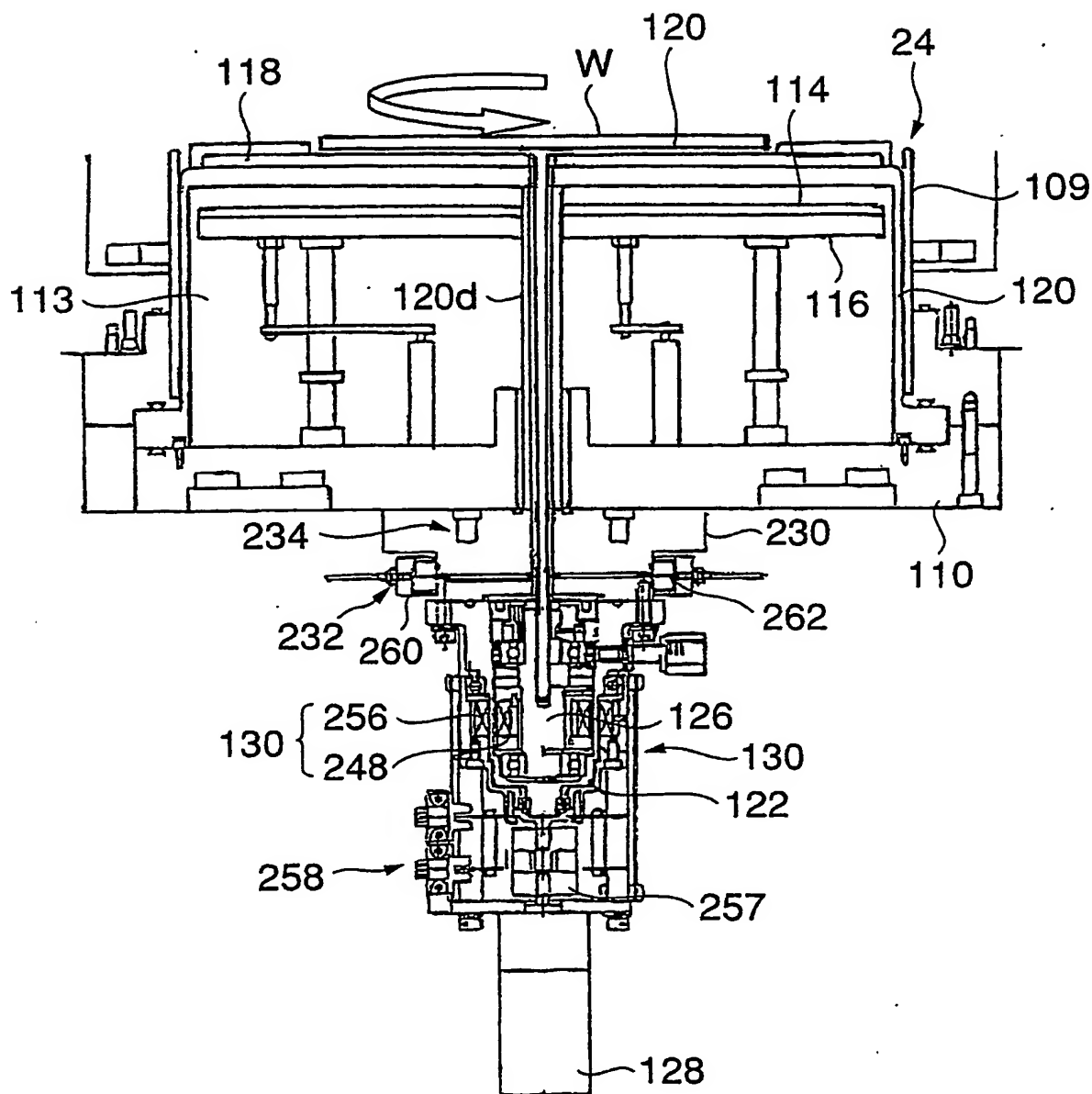


FIG.30B



31/65

FIG.31



32/65

FIG.32

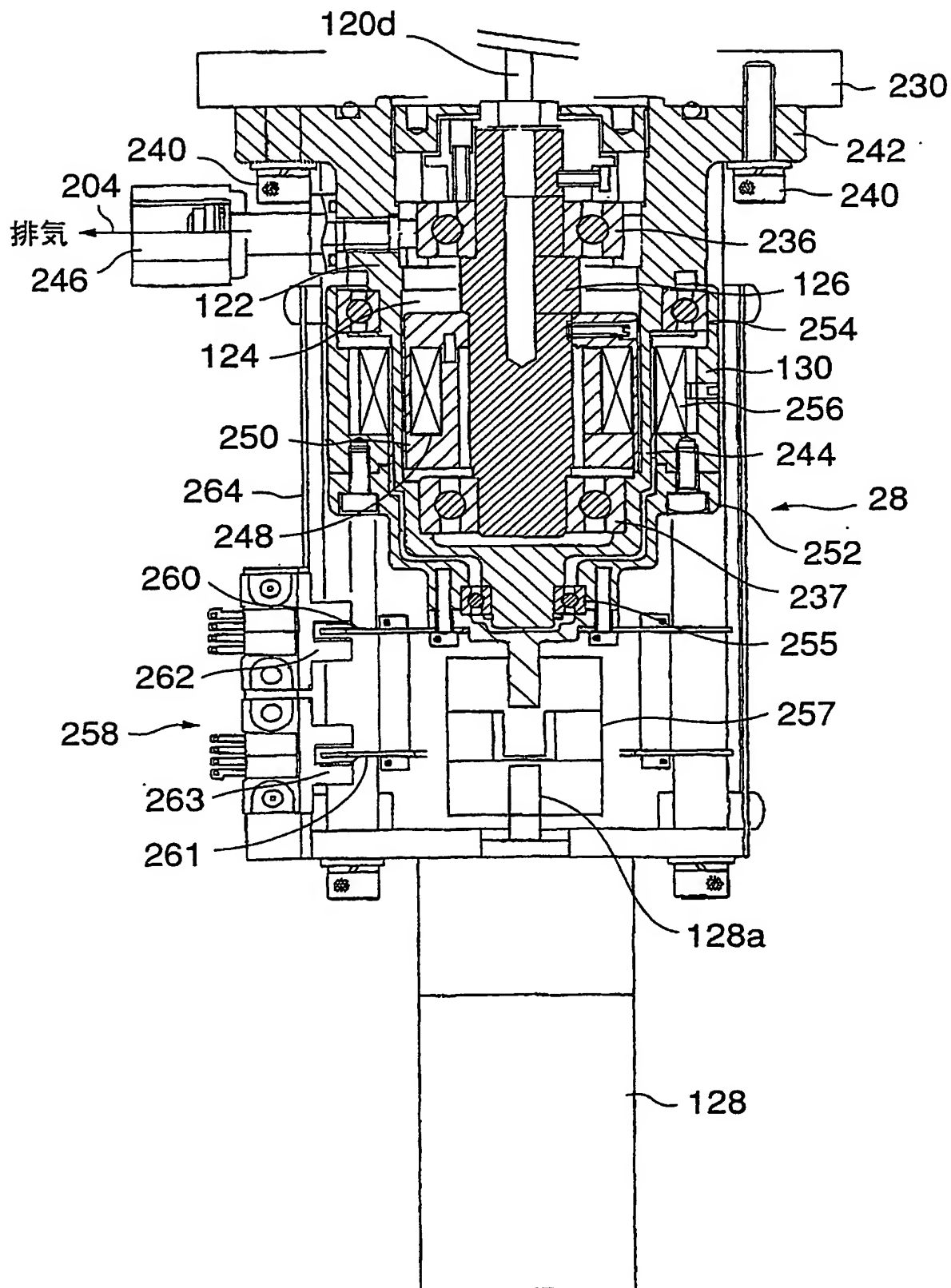


FIG.33A

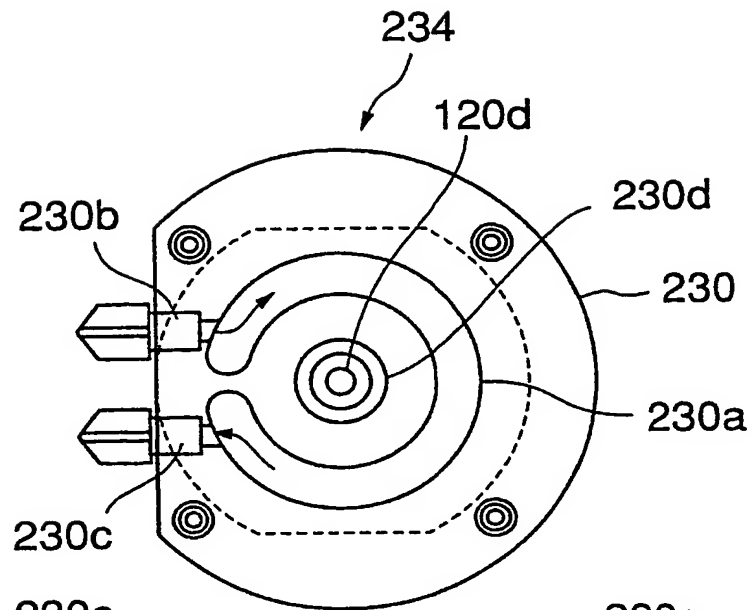
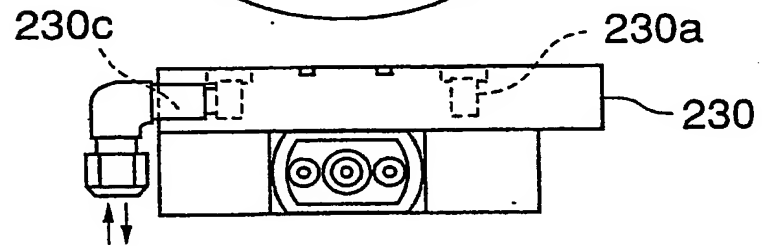
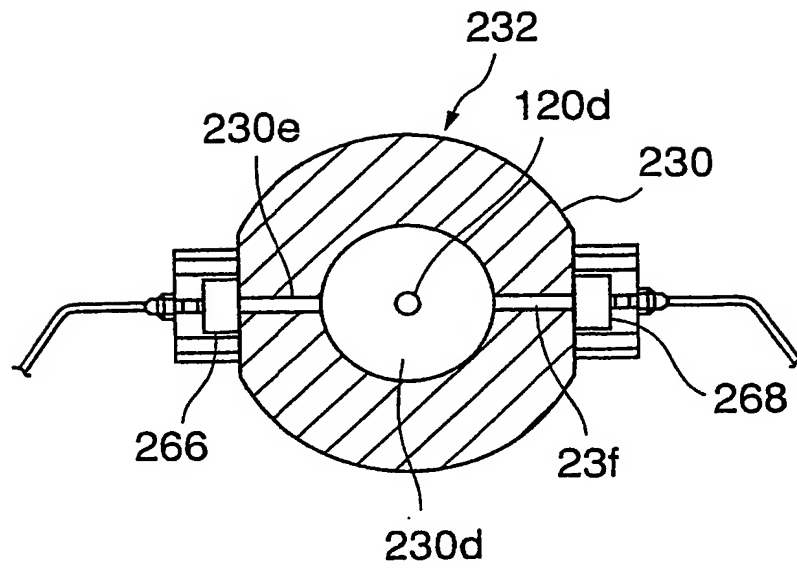


FIG.33B



34/65

FIG.34



35/65

FIG.35A

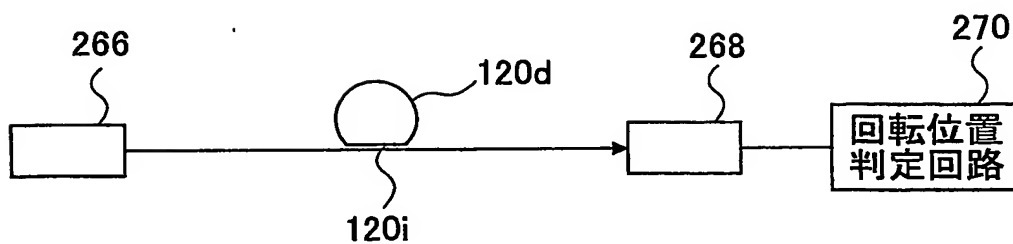
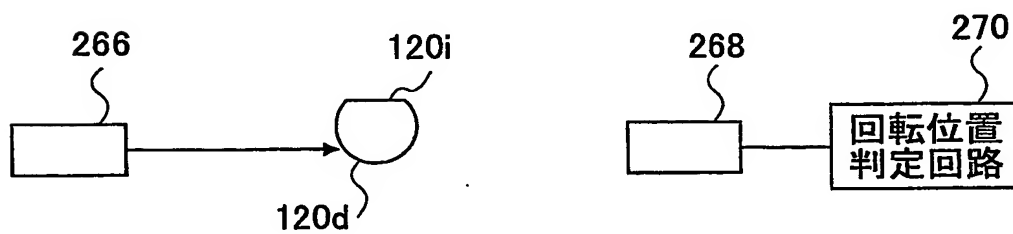


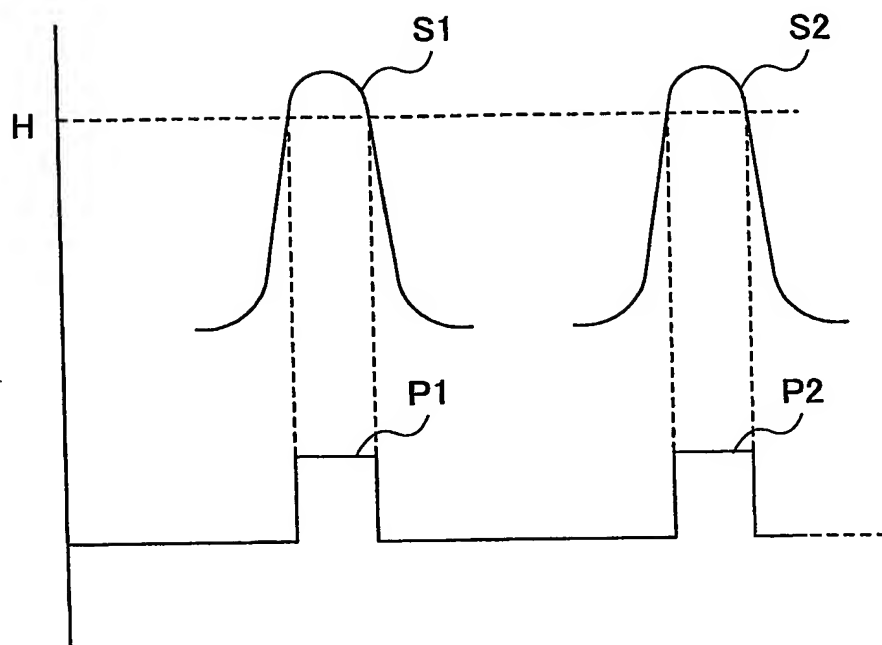
FIG.35B



36/65

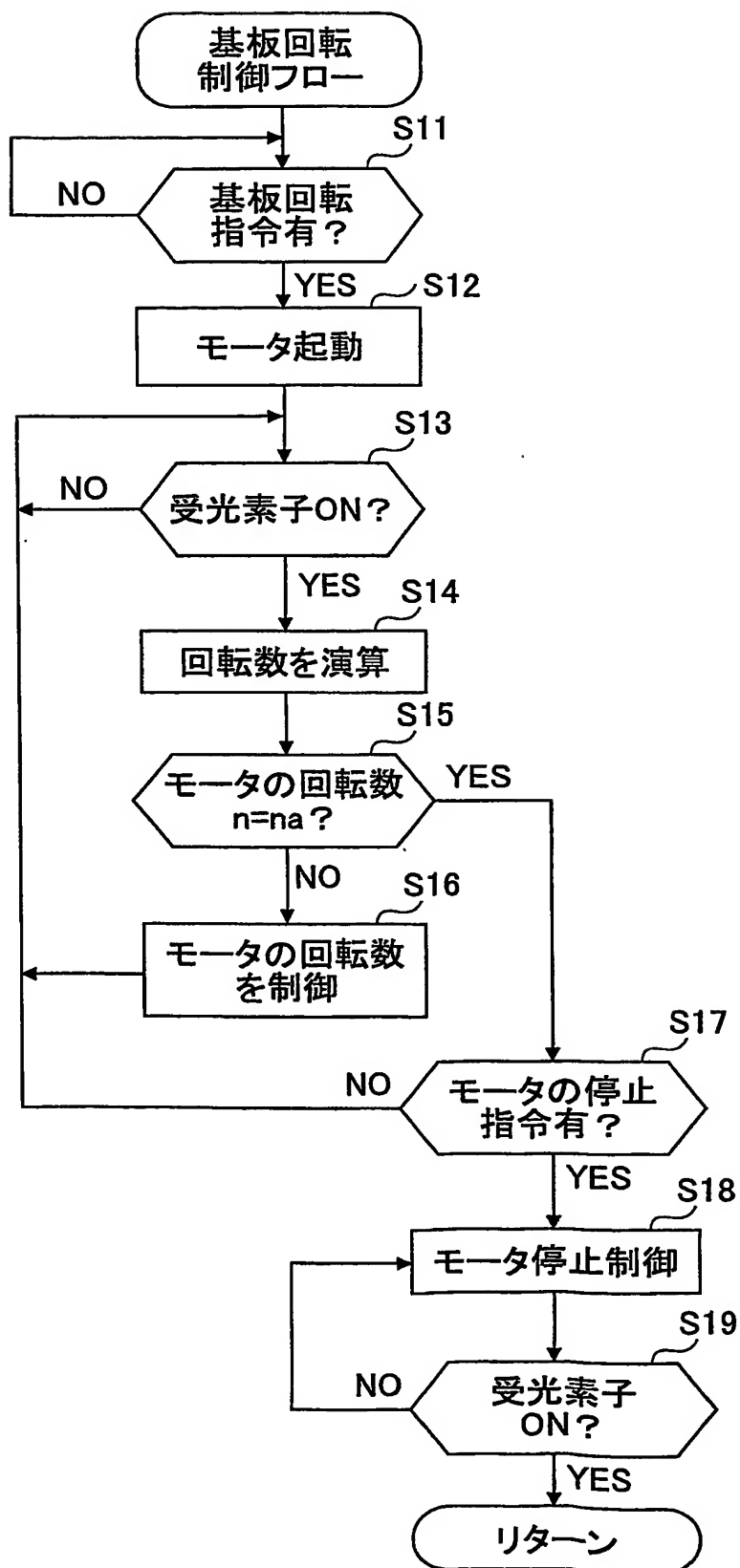
FIG.36A

FIG.36B



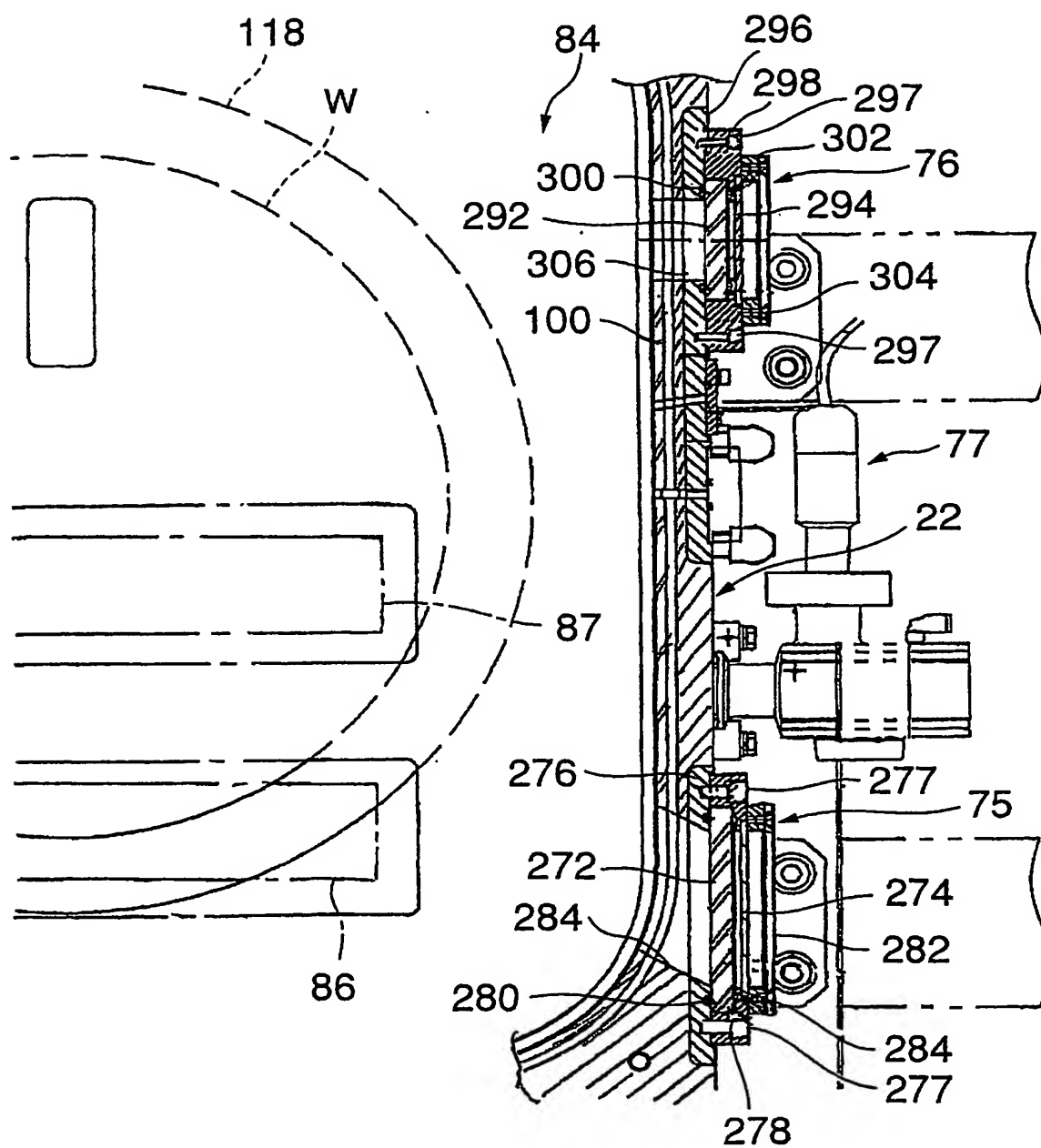
37/65

FIG.37



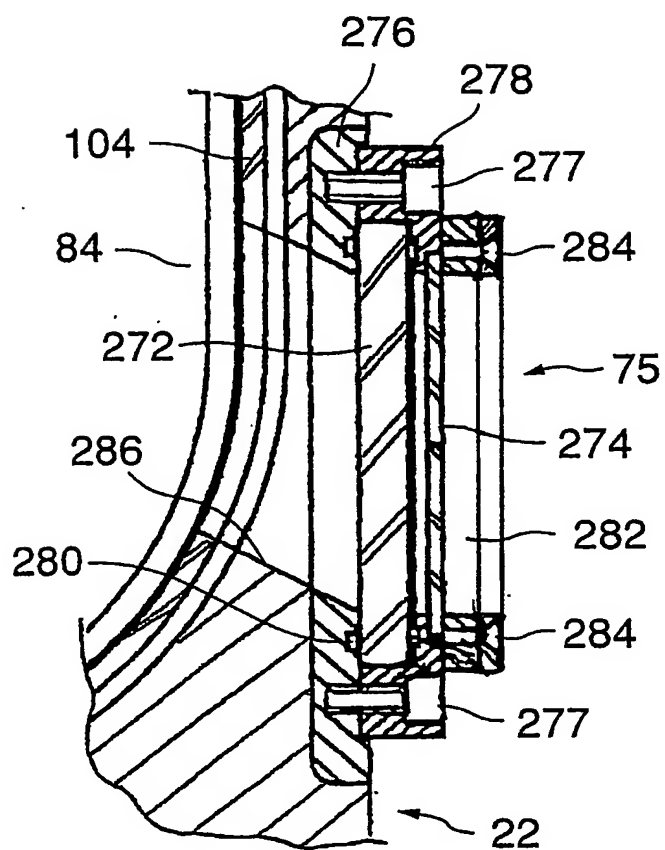
38/65

FIG.38



39/65

FIG.39



40/65

FIG.40

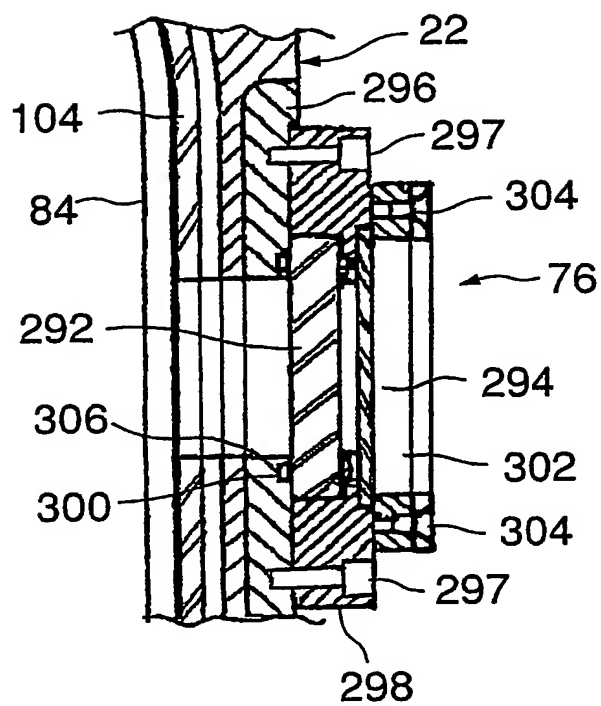


FIG.41B

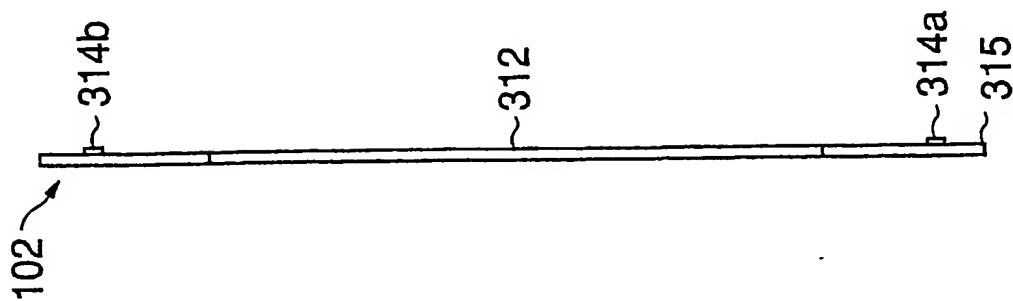
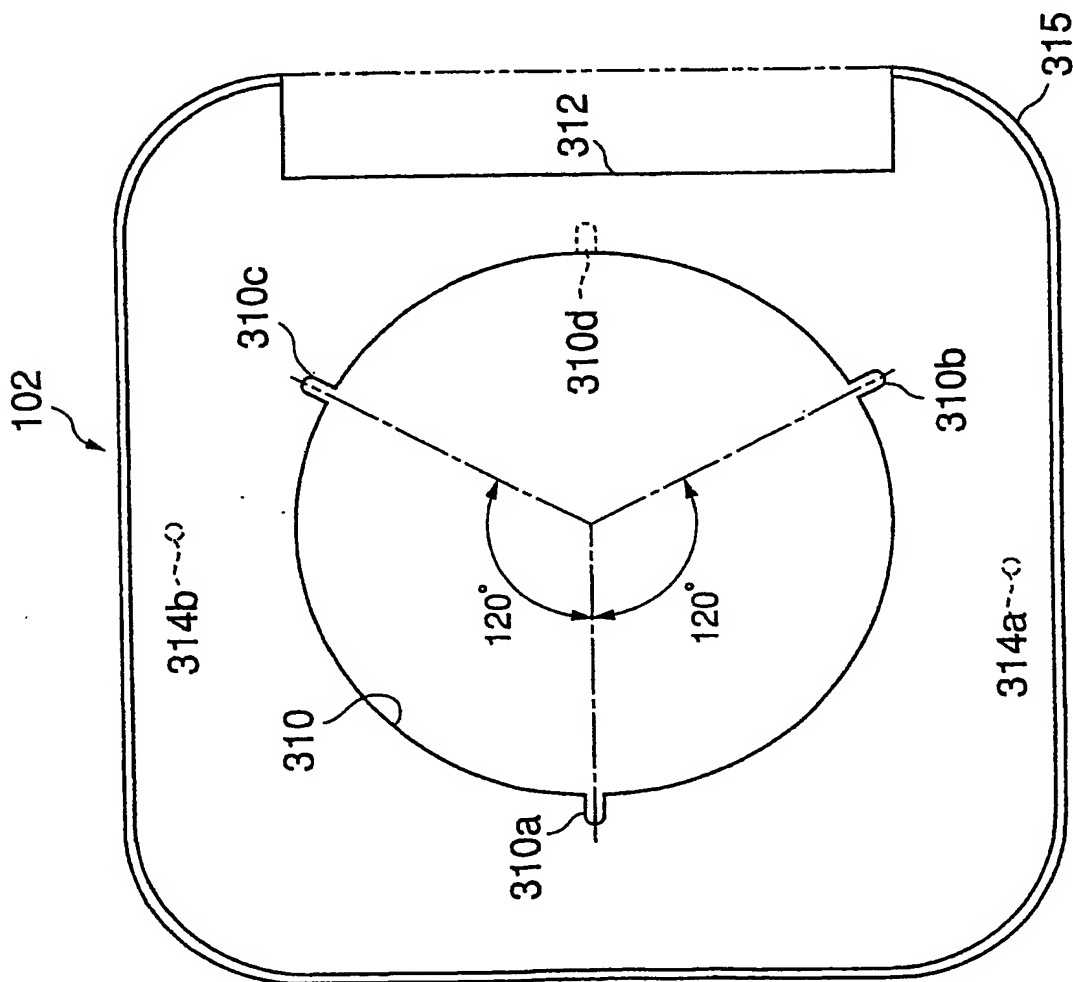


FIG.41A



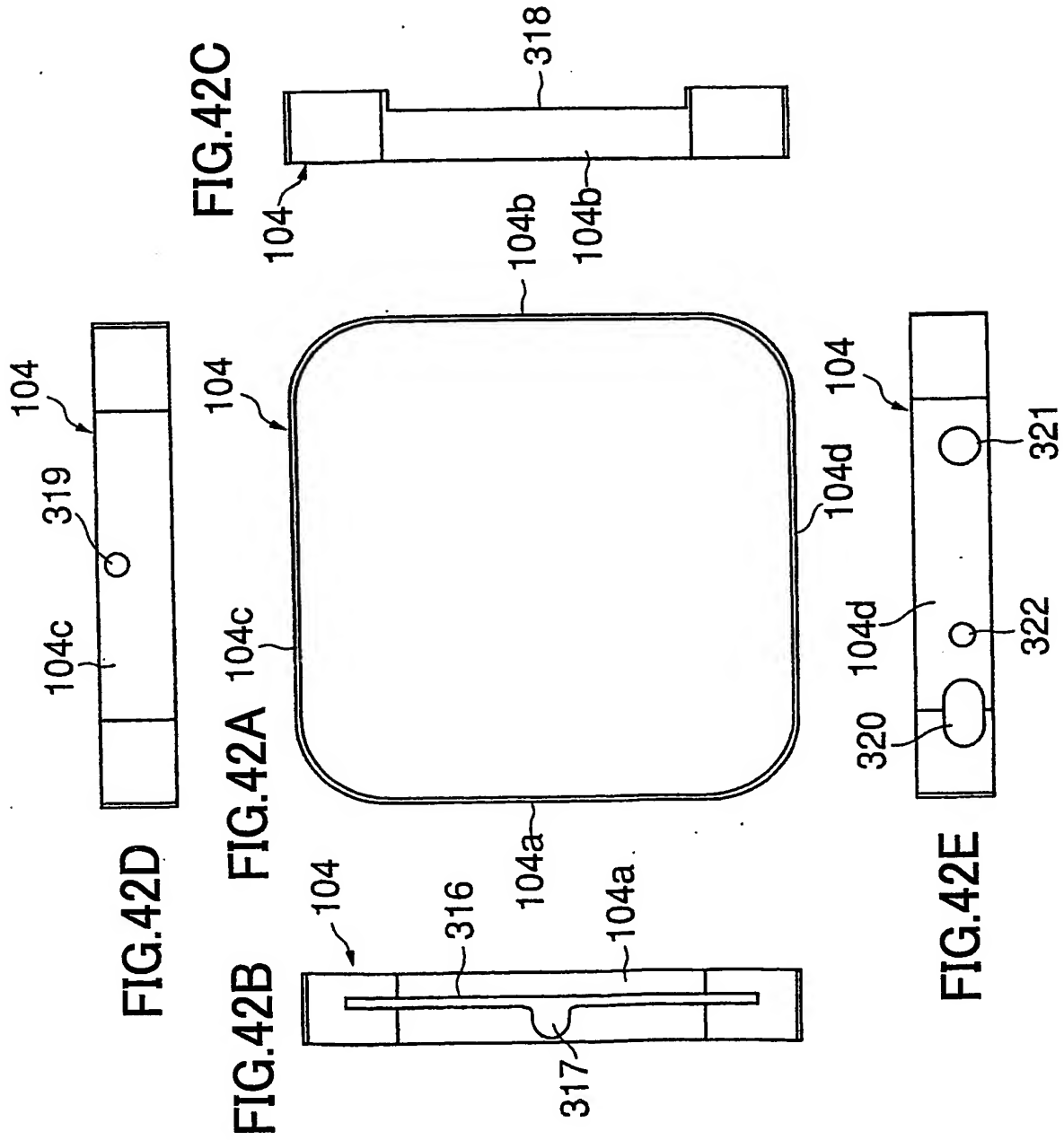


FIG.43B

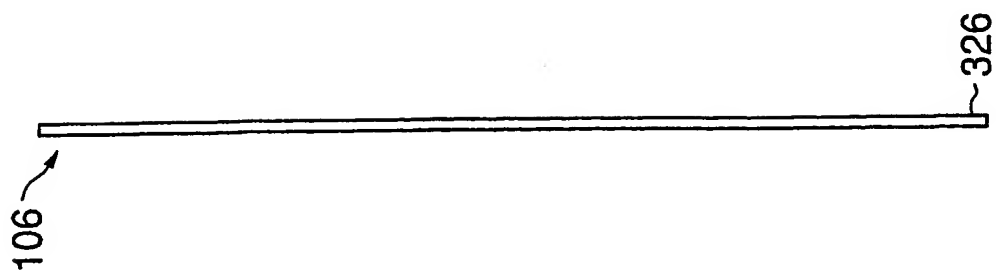


FIG.43A

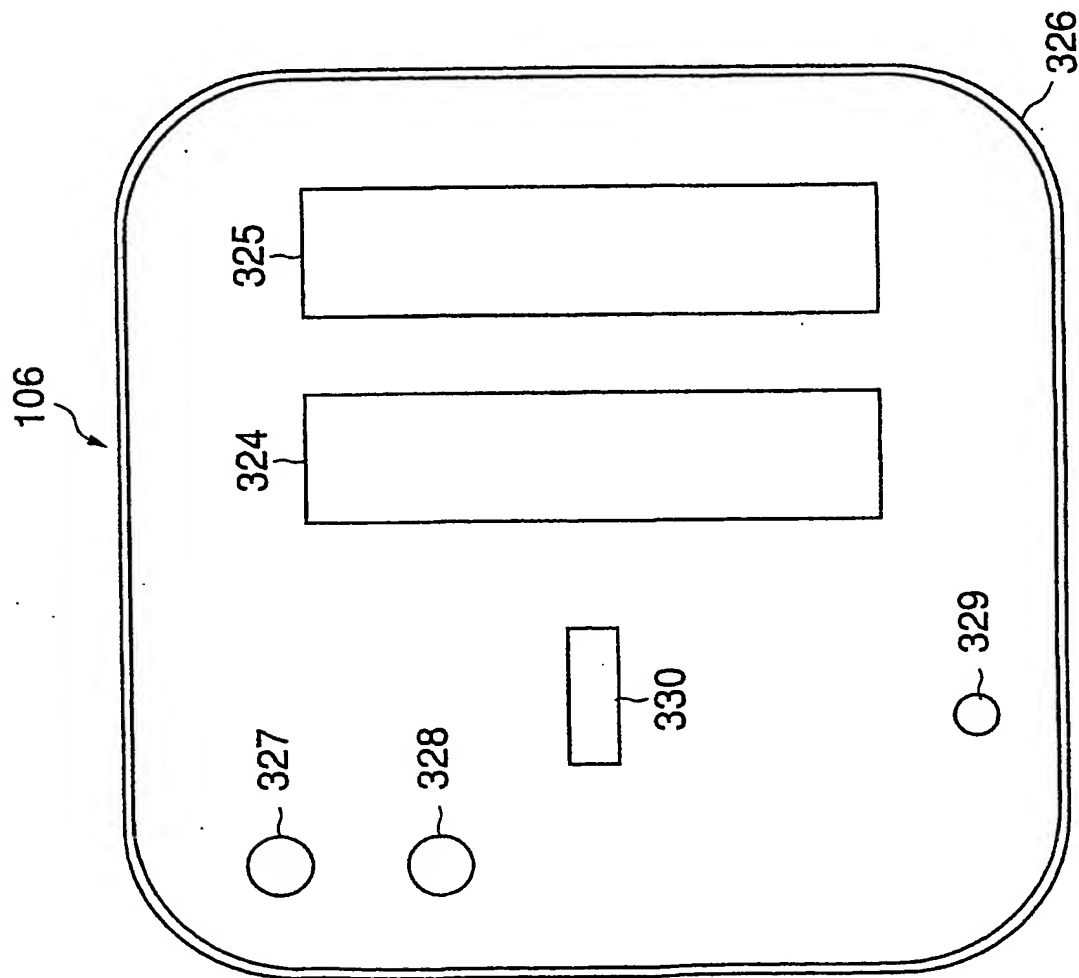


FIG.44A

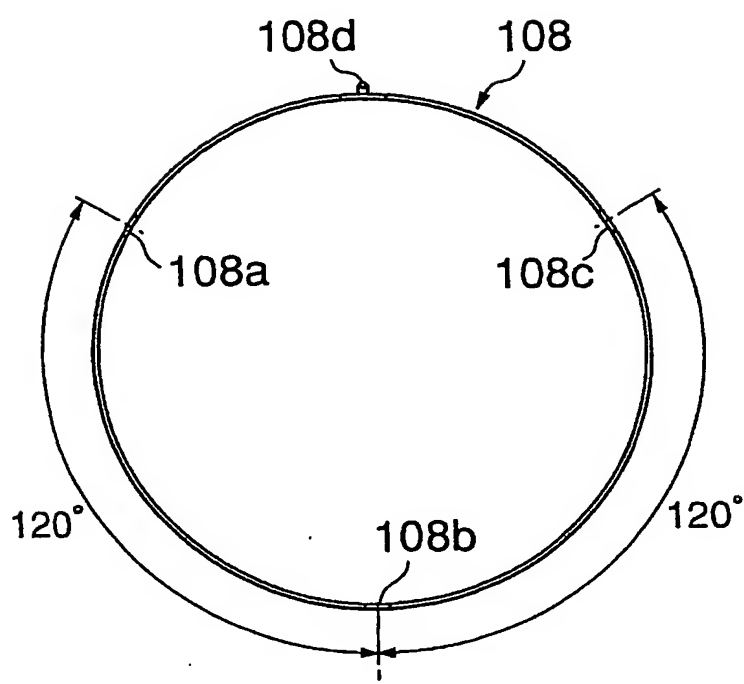


FIG.44B

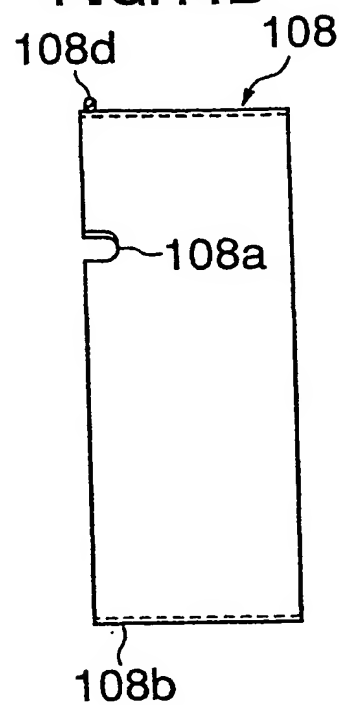
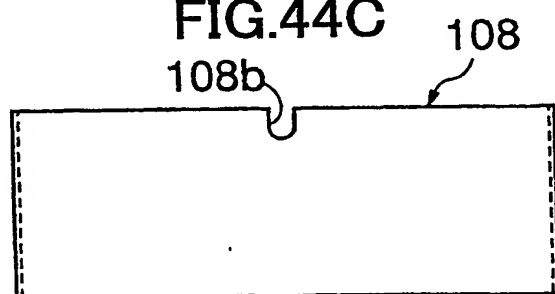
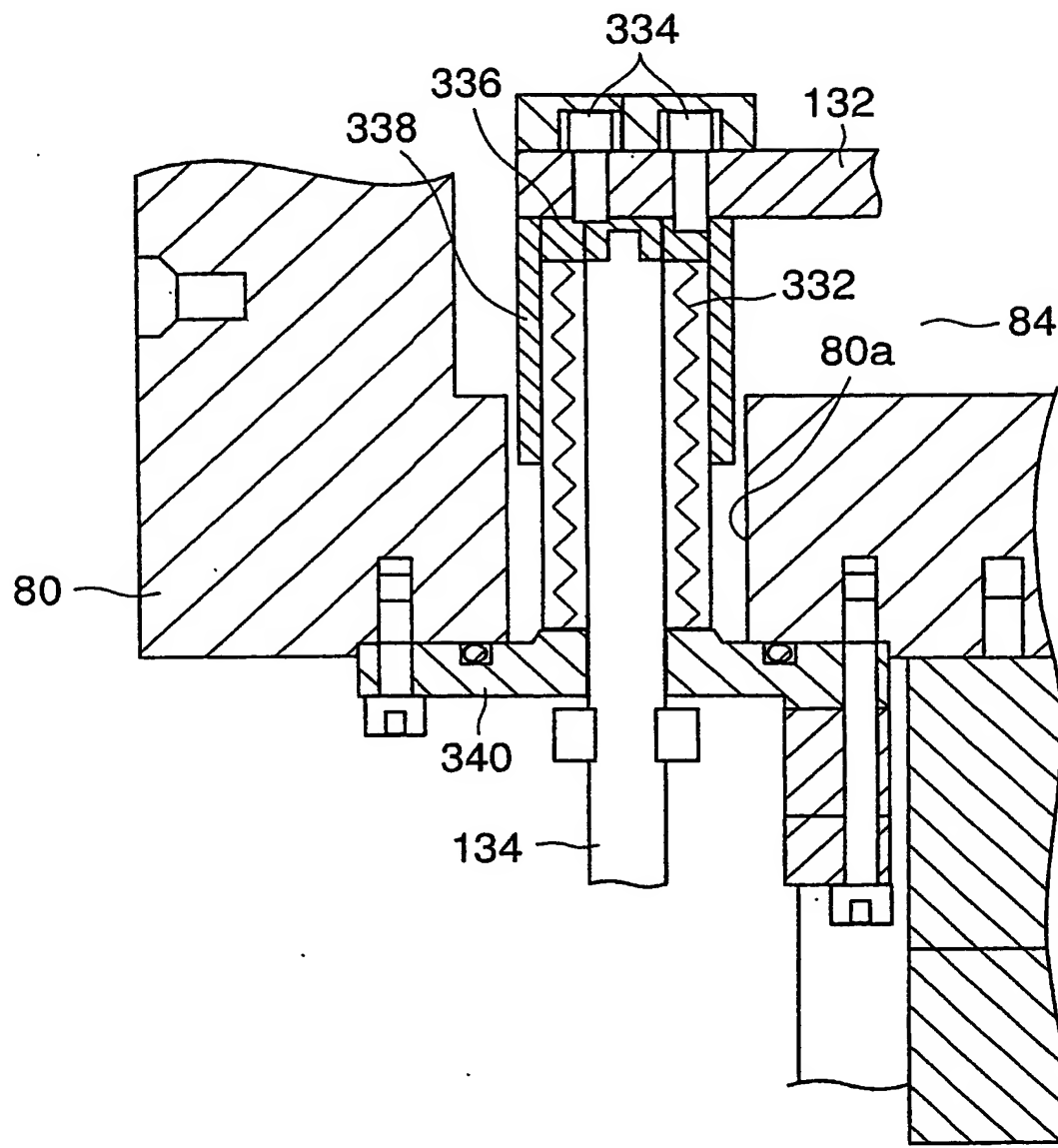


FIG.44C



46/65

FIG.46



47/65

FIG.47A

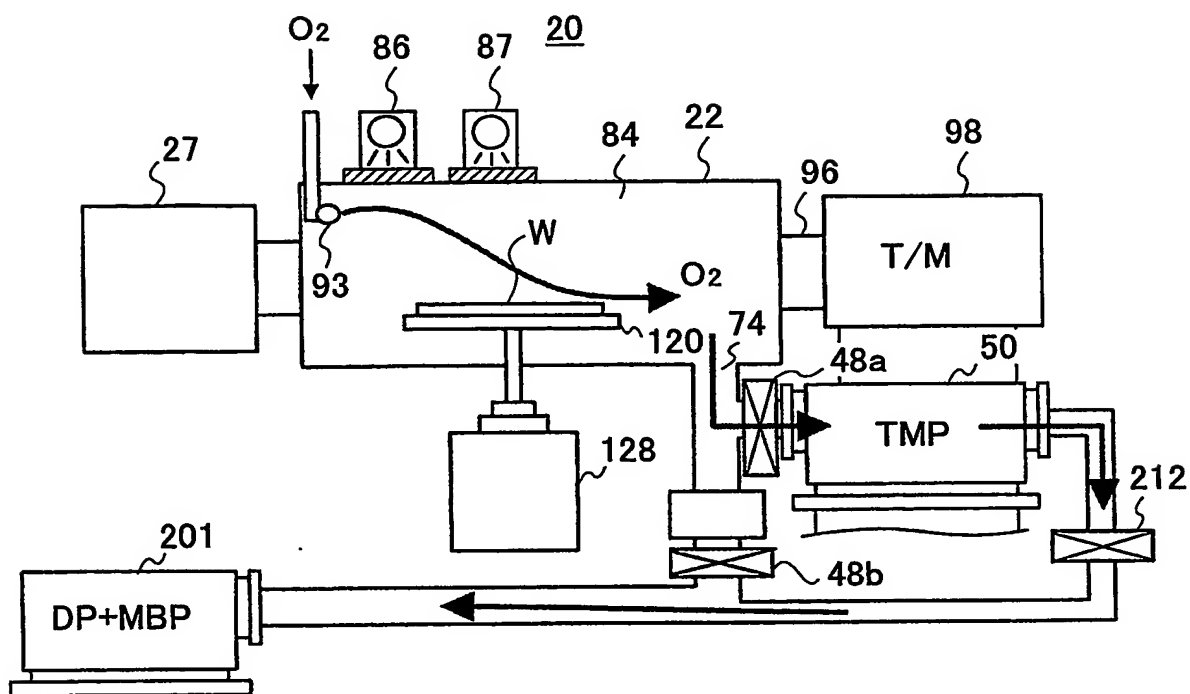
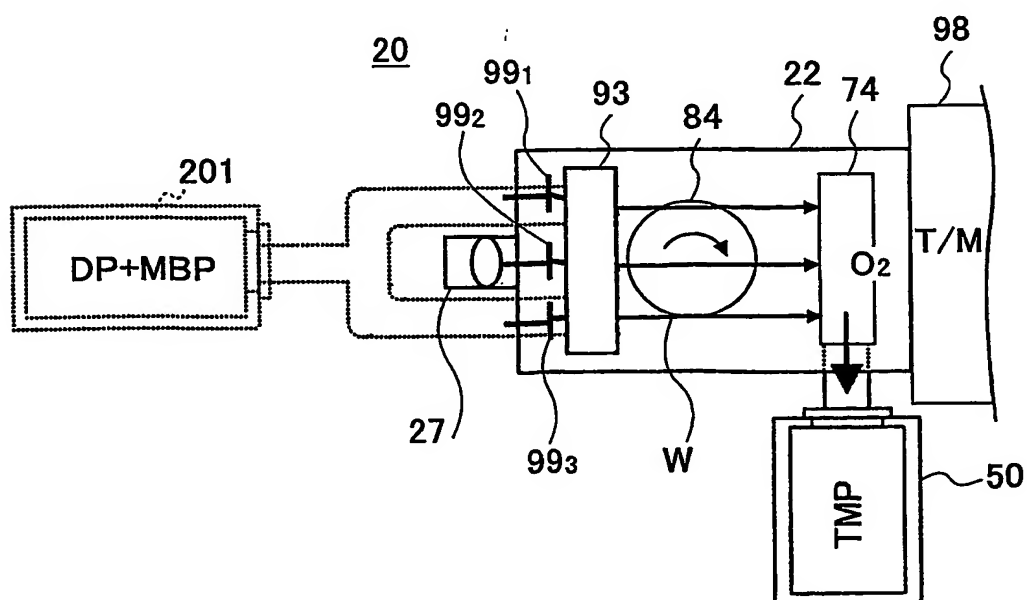


FIG.47B



48/65

FIG.48

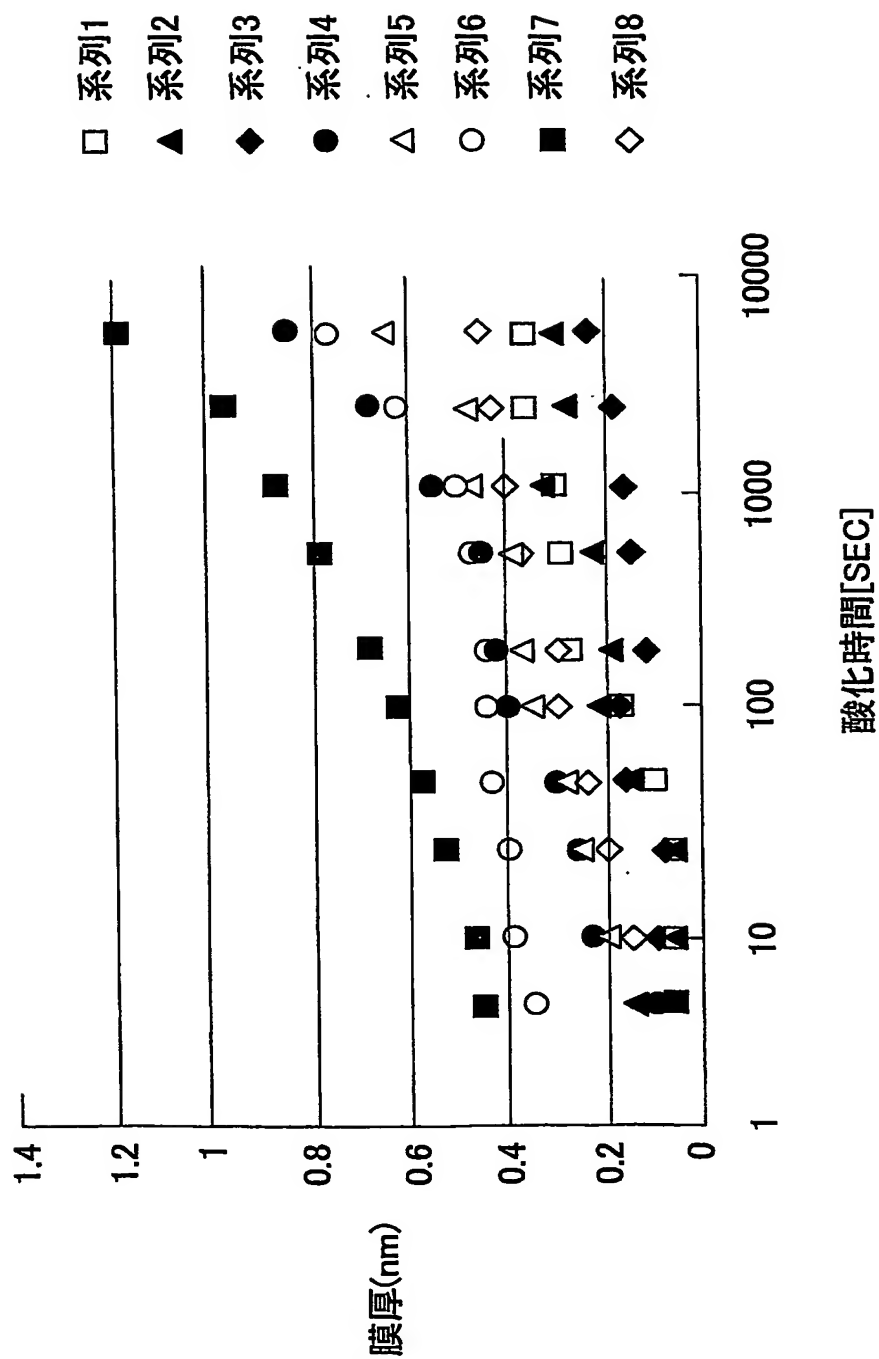


FIG.49

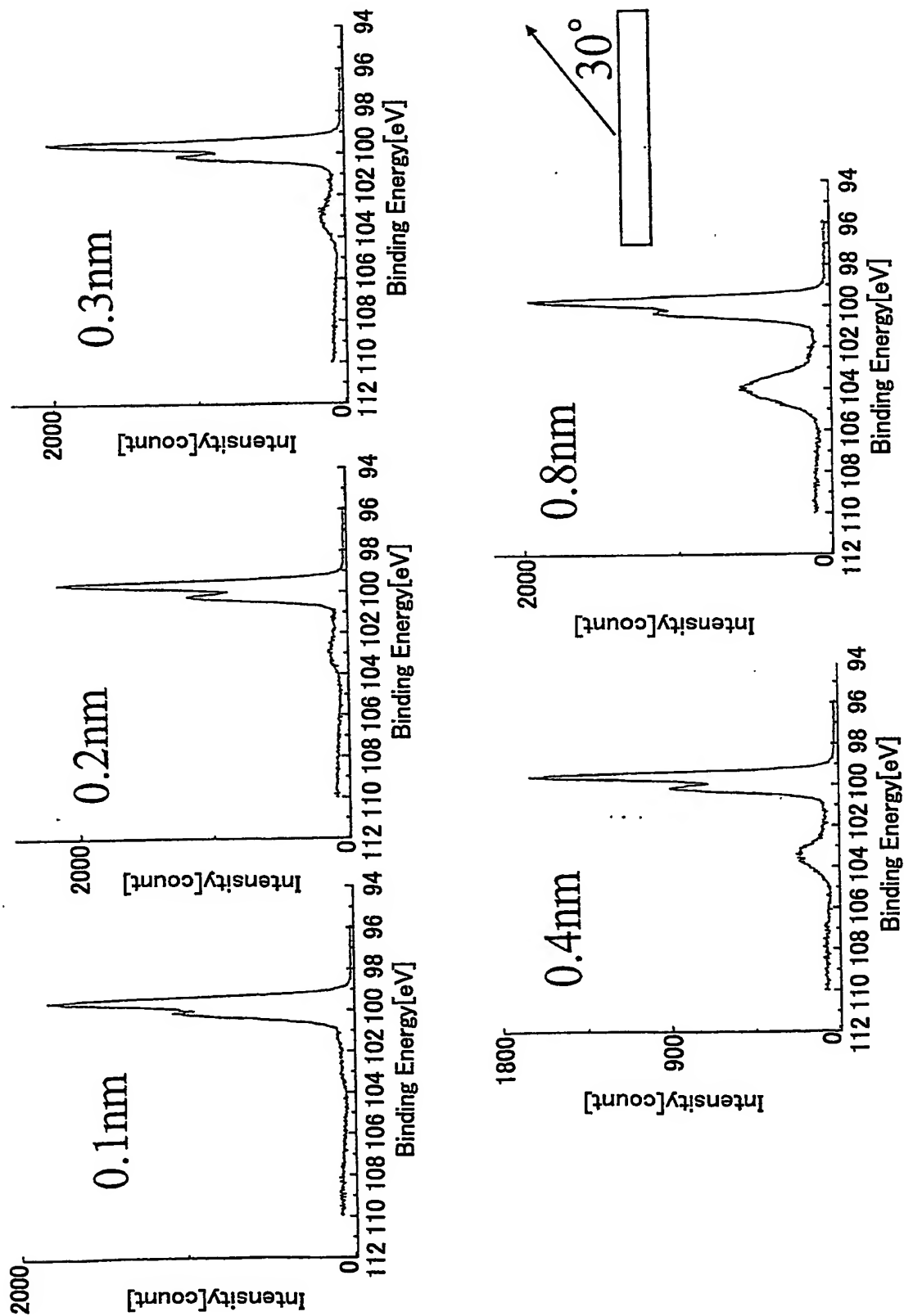
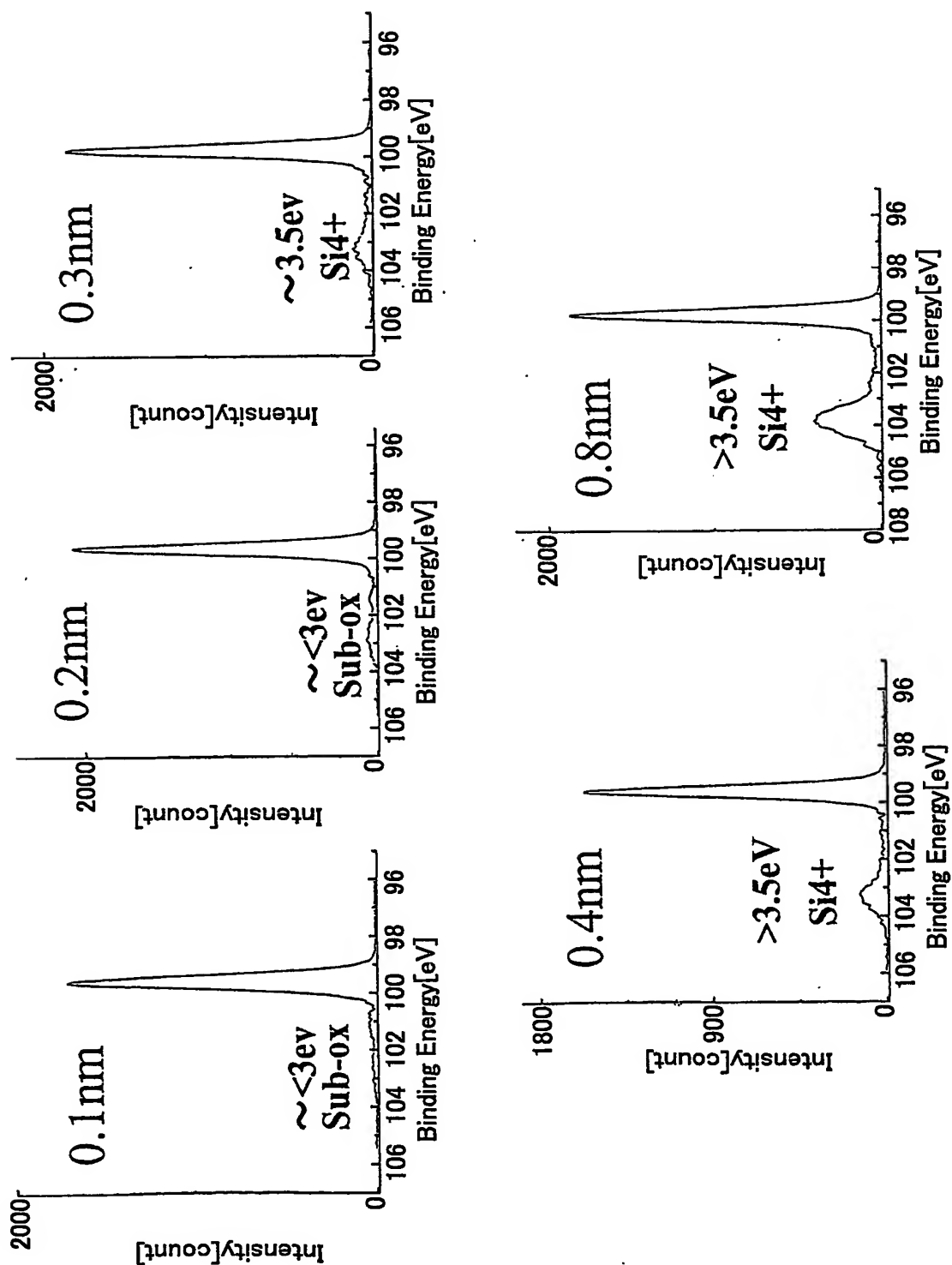
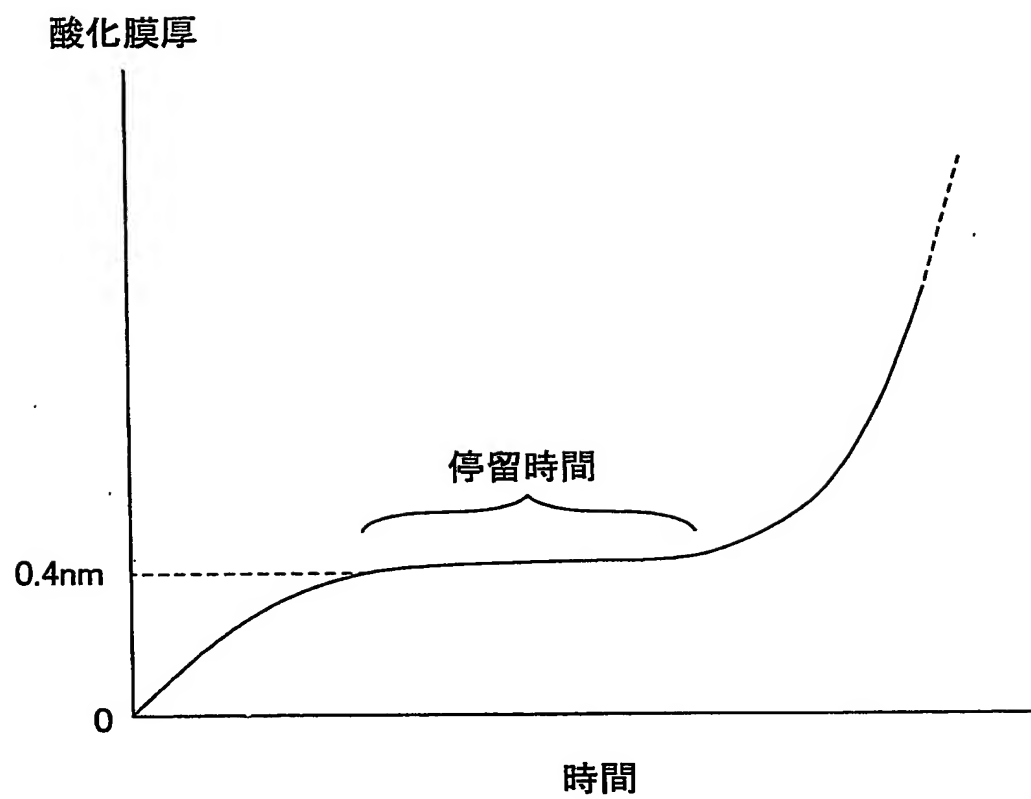


FIG.50



51/65

FIG.51



52/65

FIG.52A

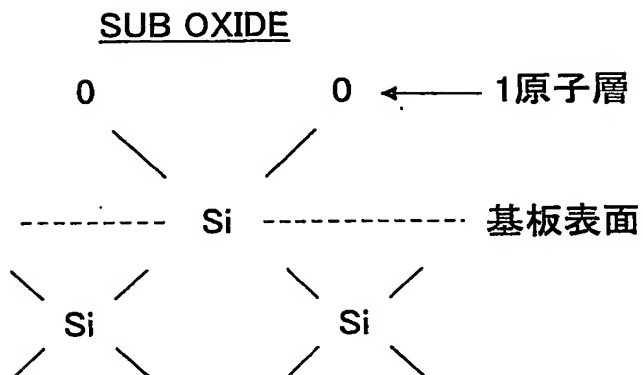
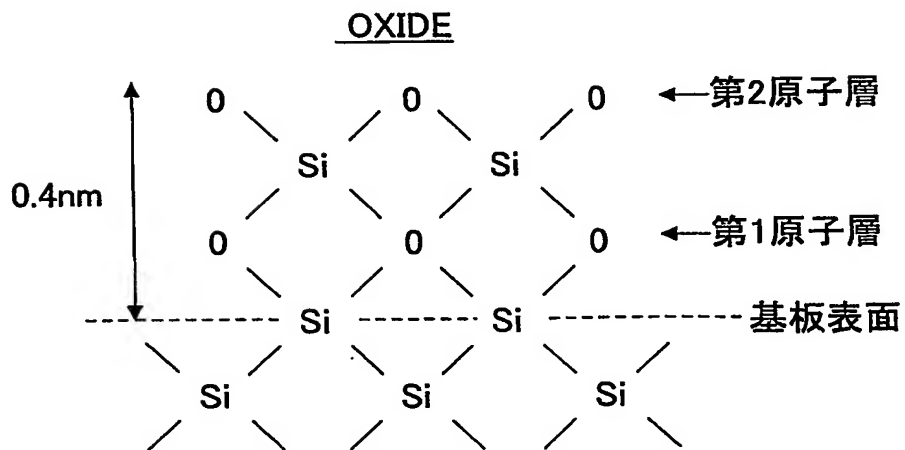
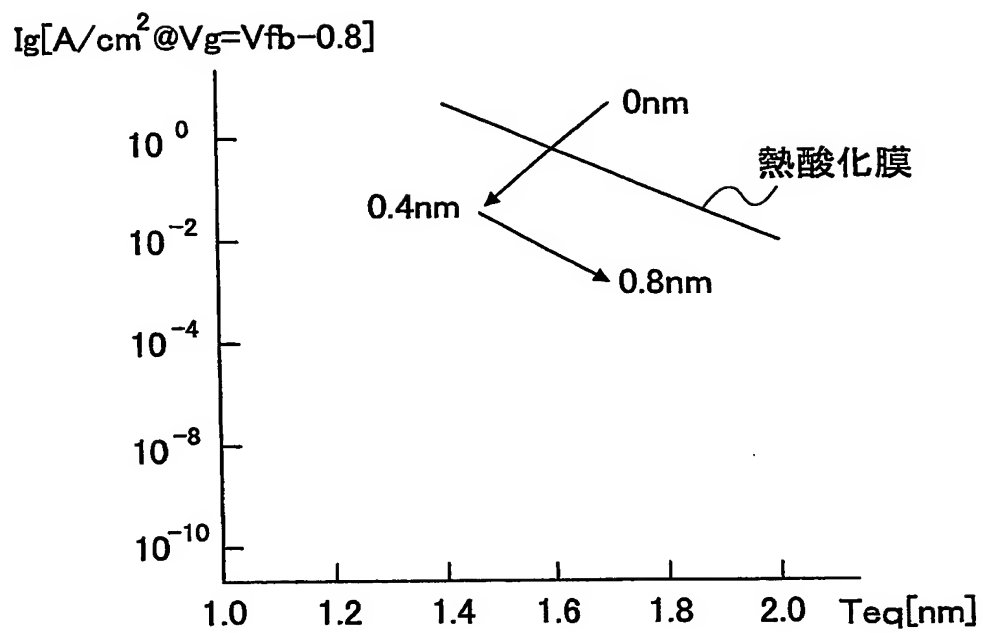


FIG.52B



53/65

FIG.53



54/65

FIG.54A

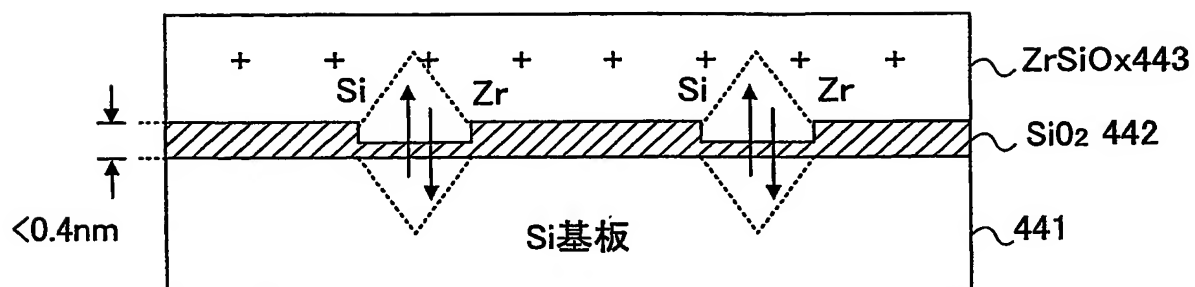
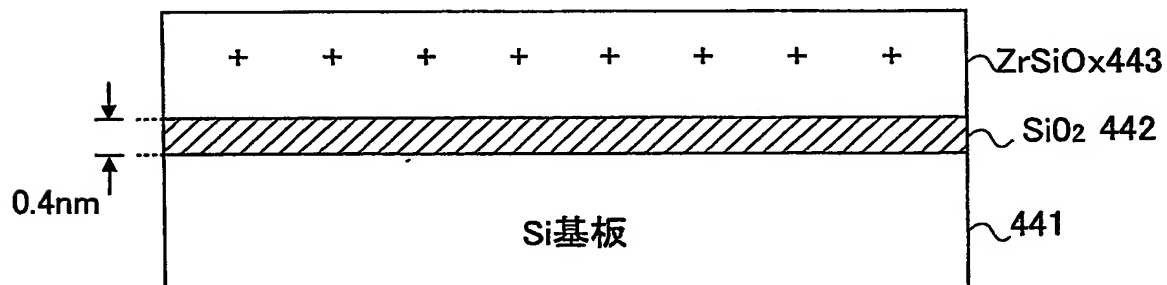


FIG.54B



55/65

FIG.55A

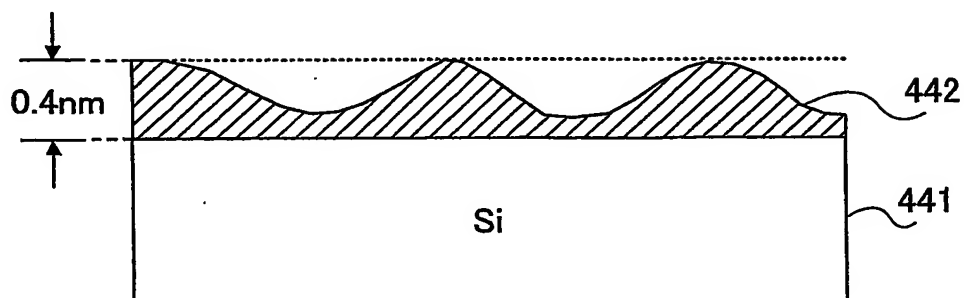


FIG.55B

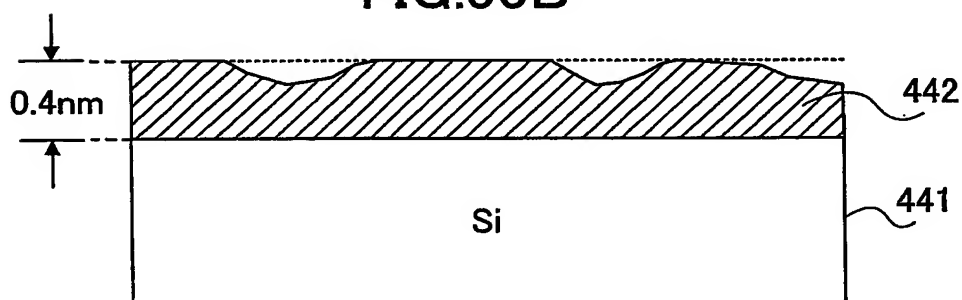


FIG.55C

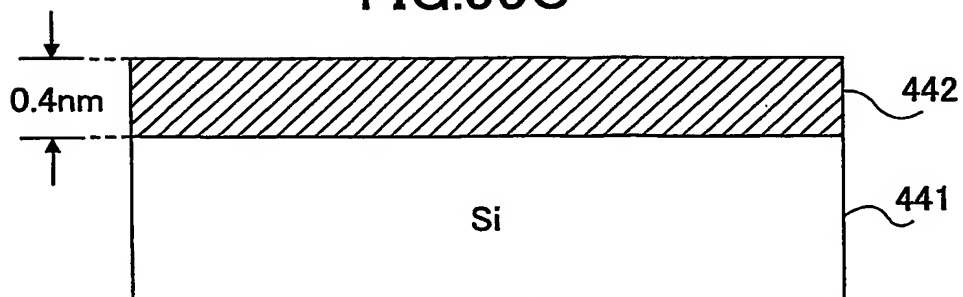
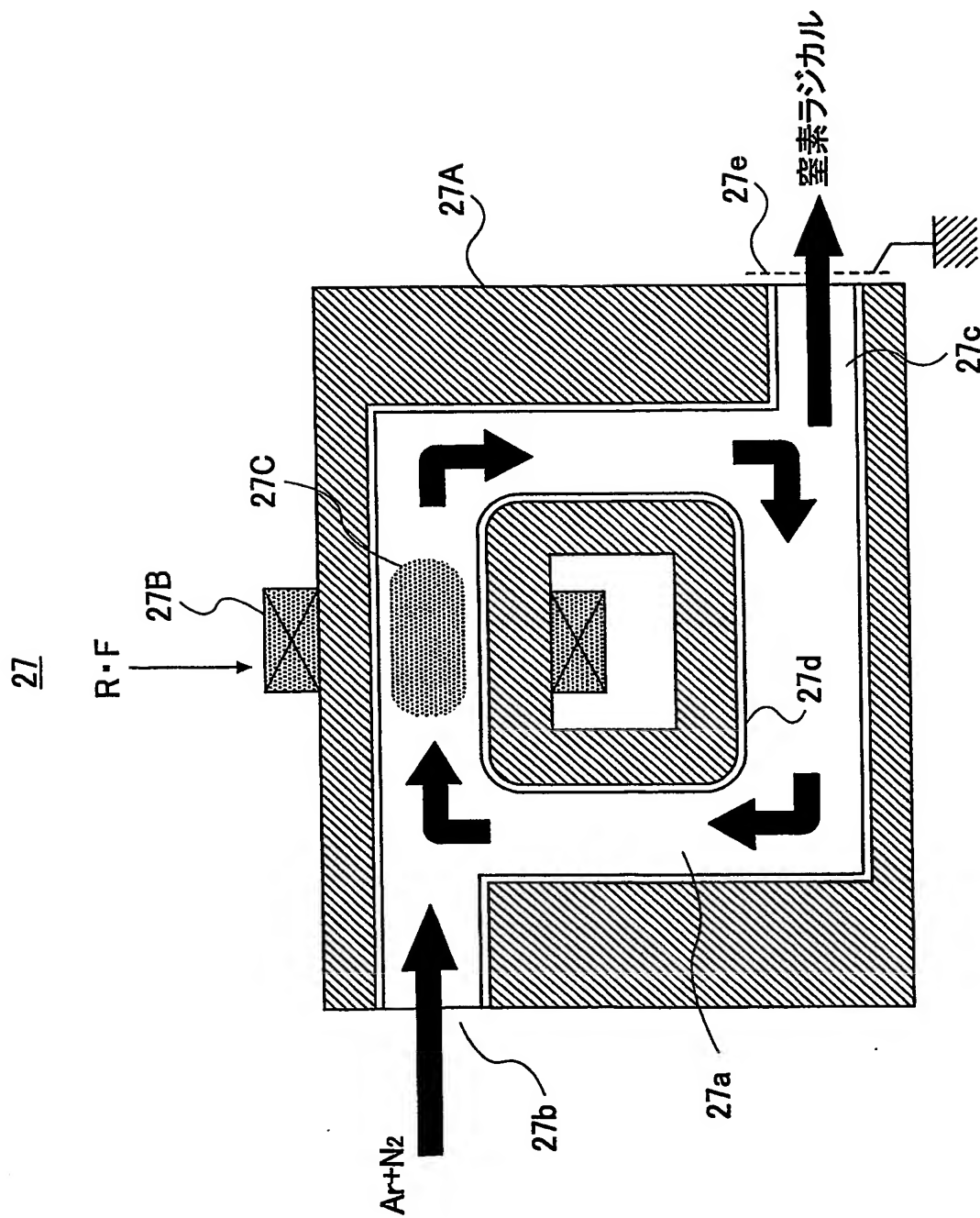
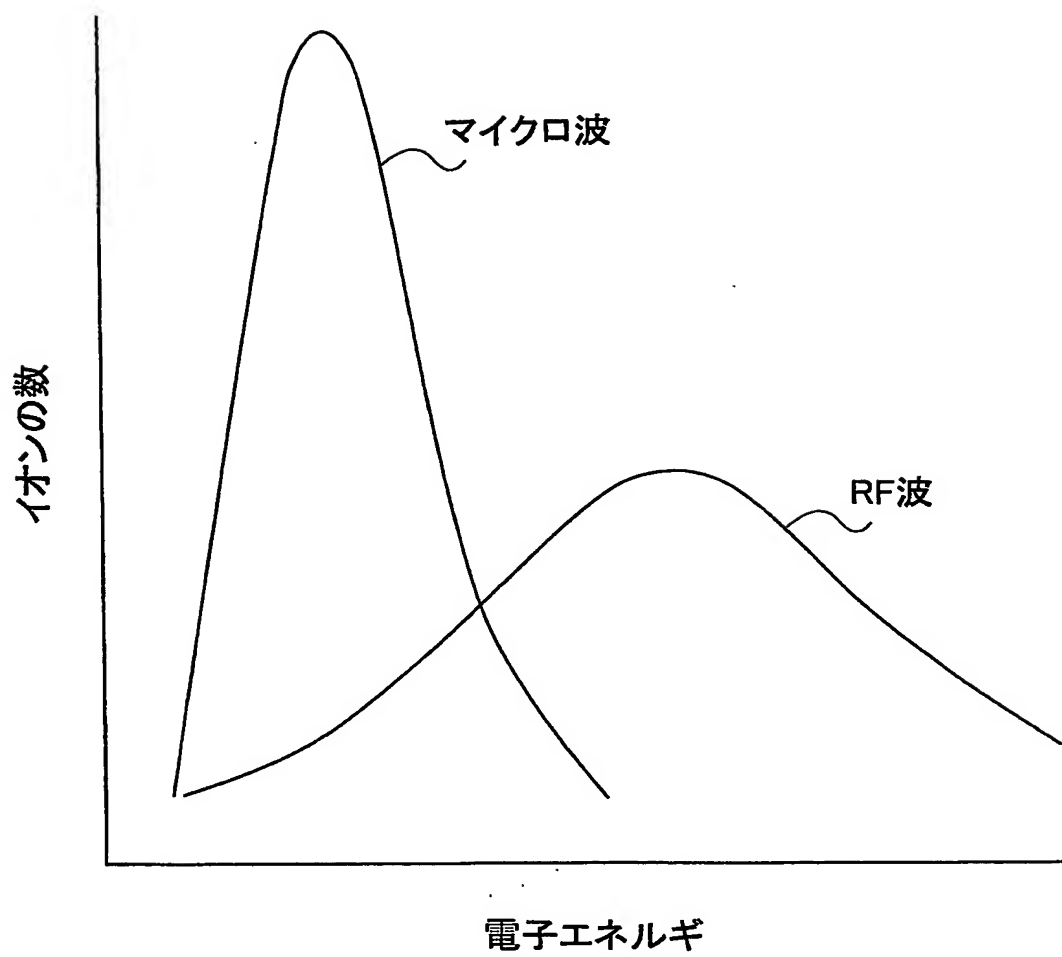


FIG.56



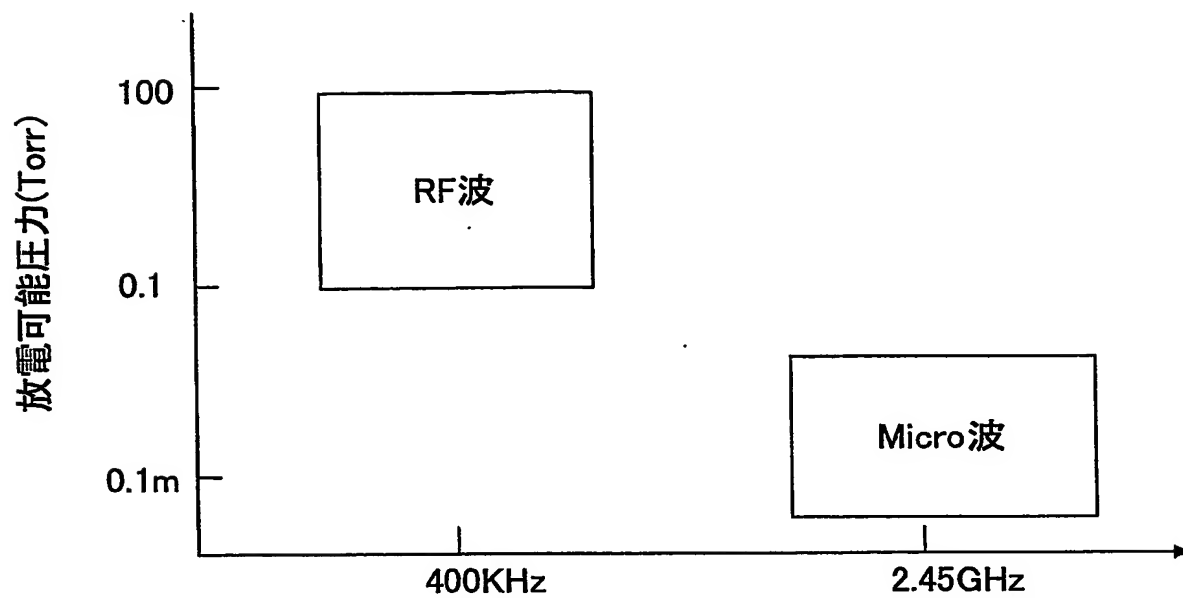
57/65

FIG.57



58/65

FIG.58



59/65

FIG.59A

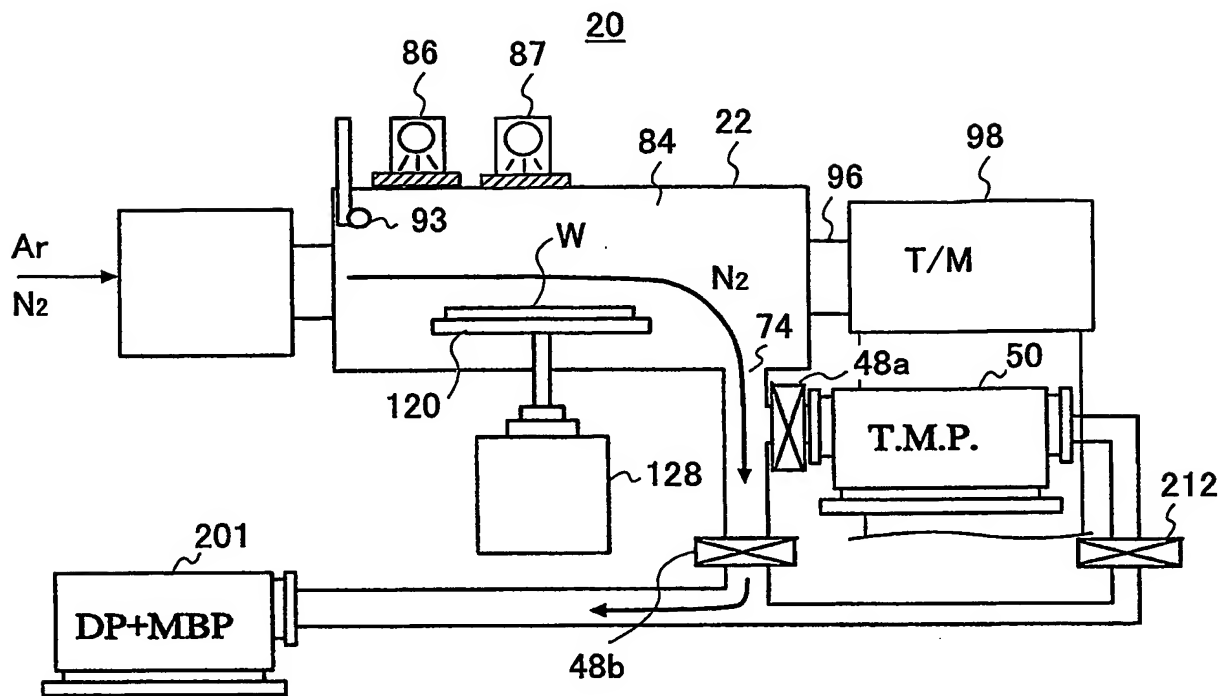
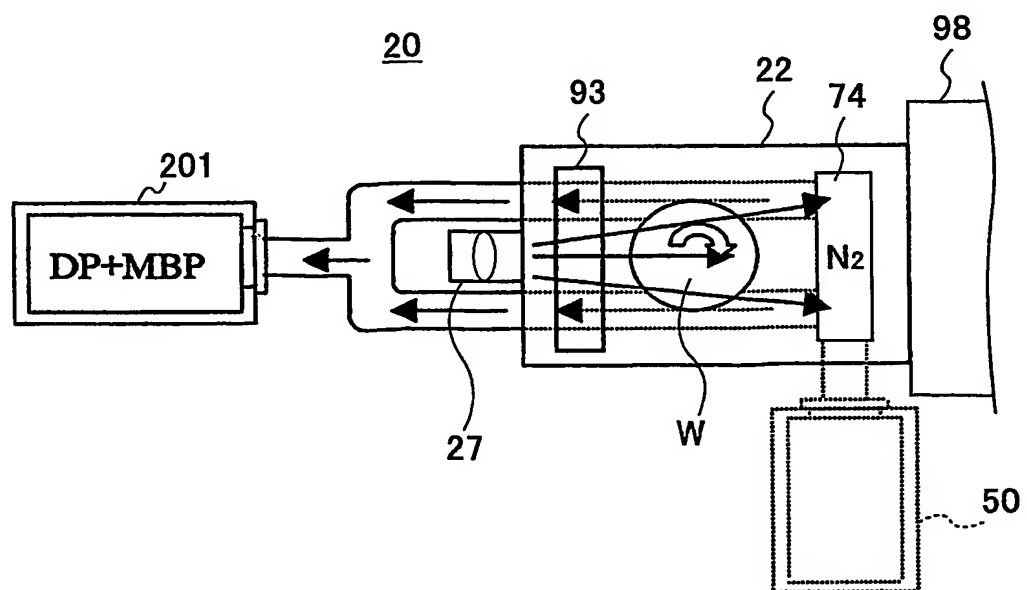


FIG.59B



60/65

FIG.60A

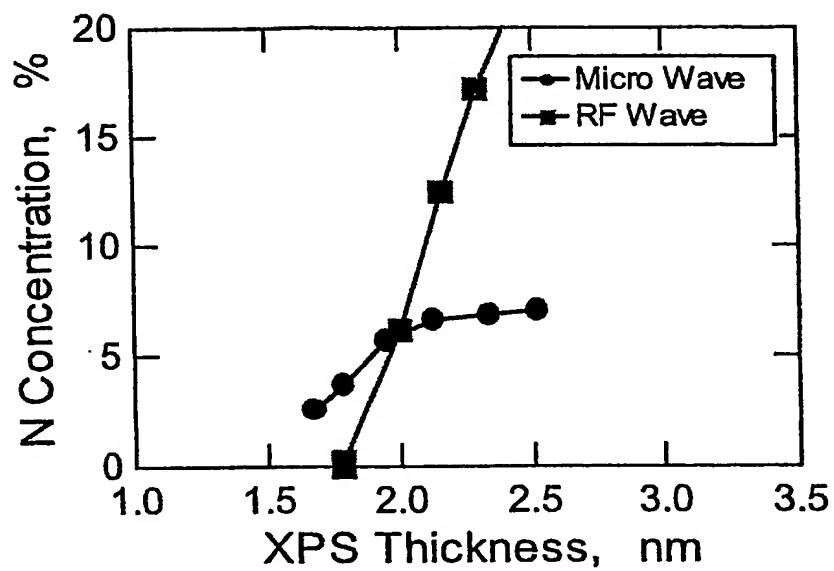
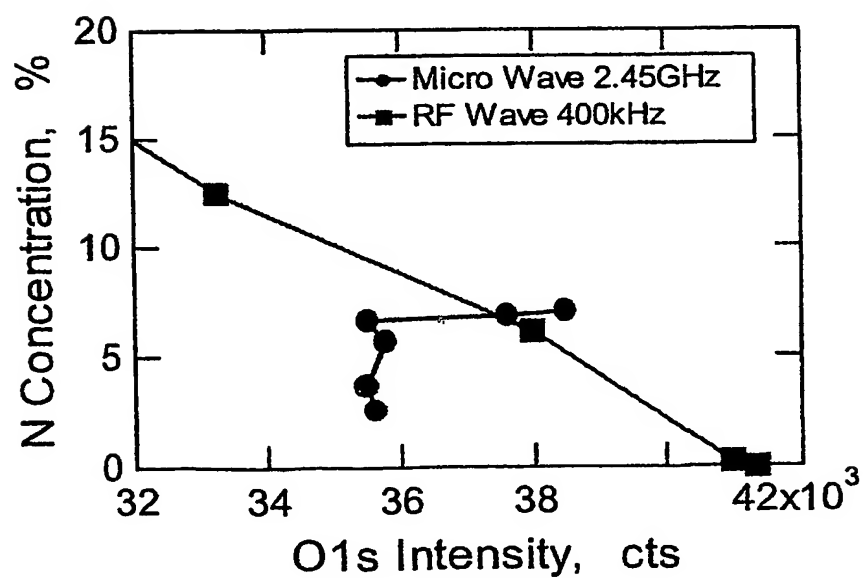
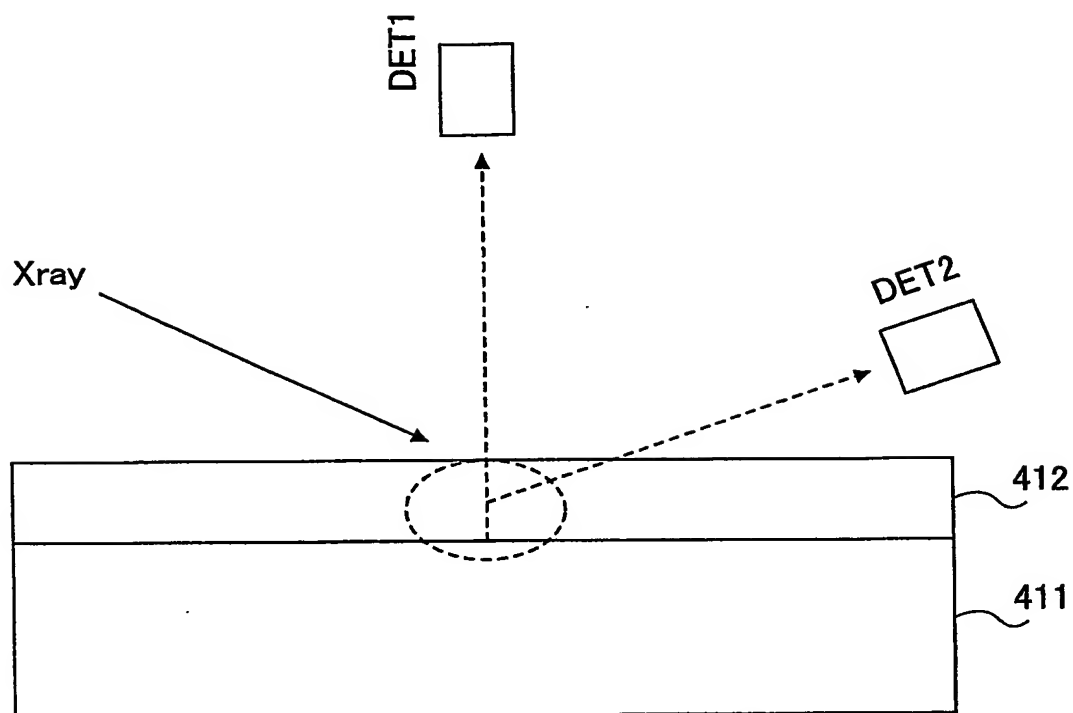


FIG.60B



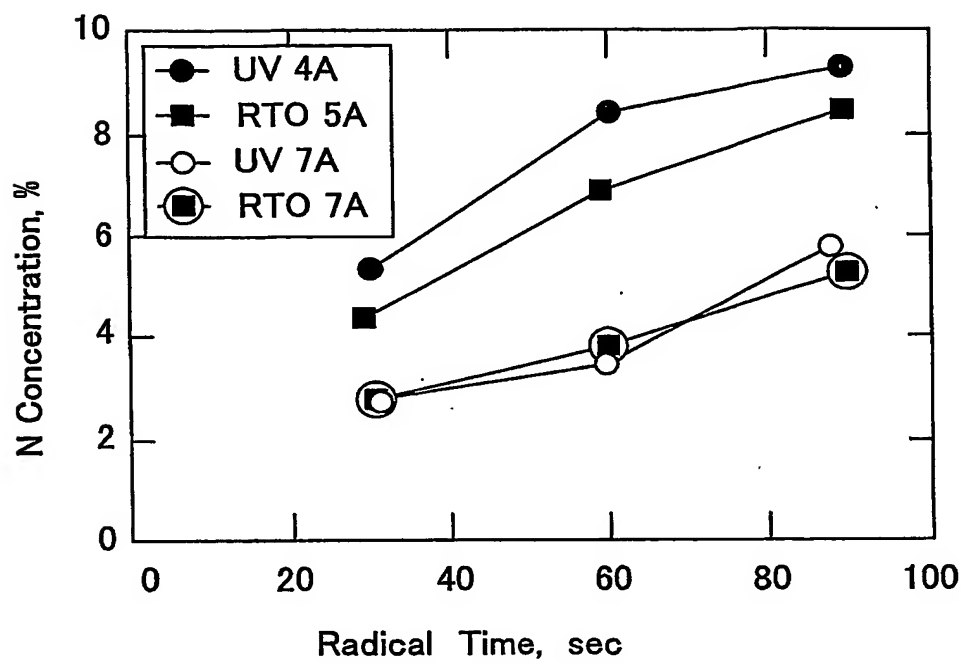
61/65

FIG.61



62/65

FIG.62



63/65

FIG.63

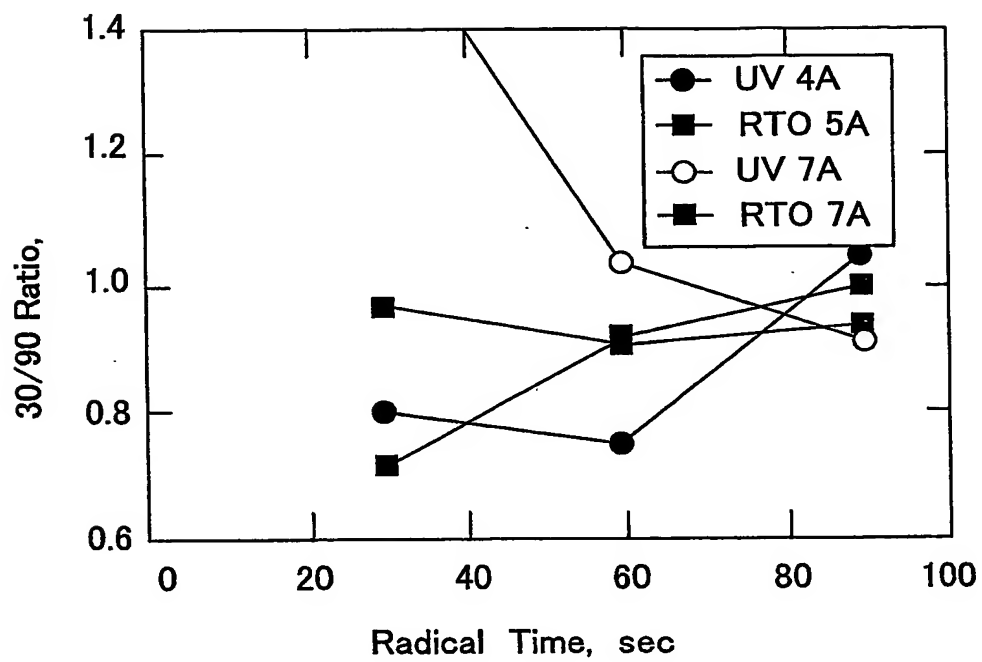
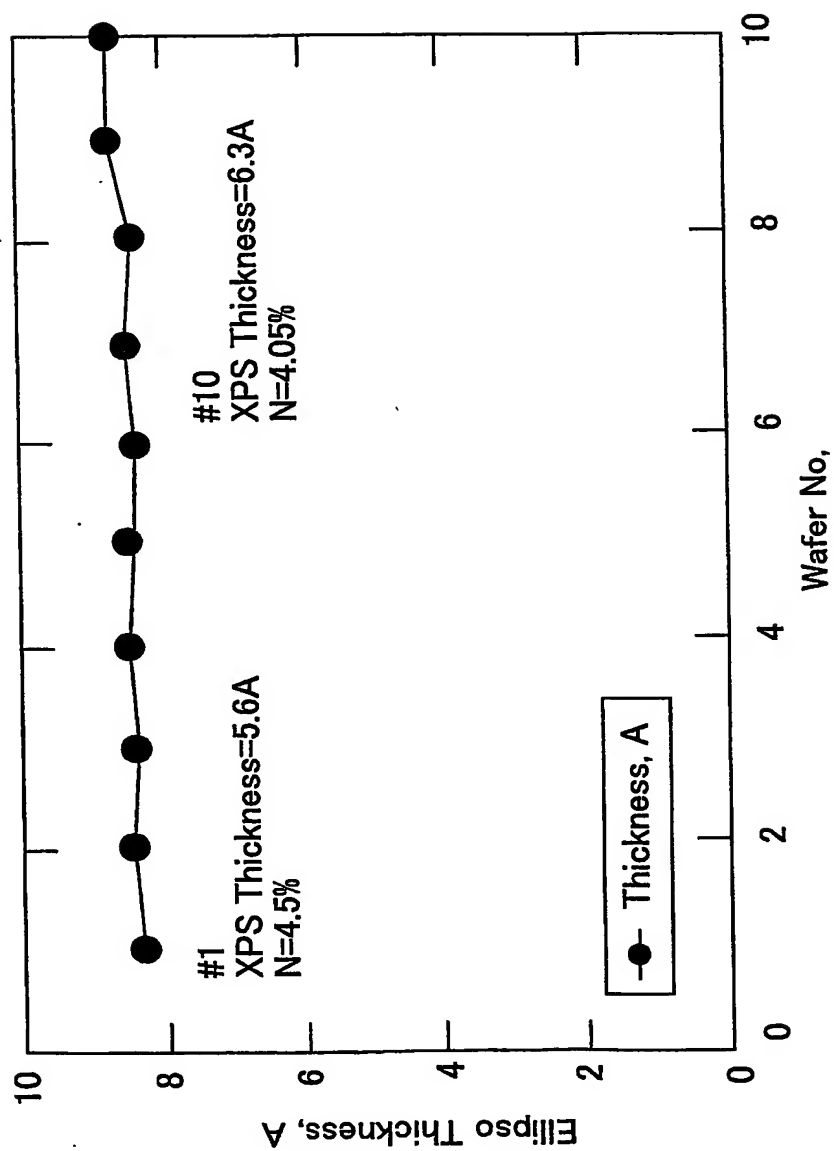
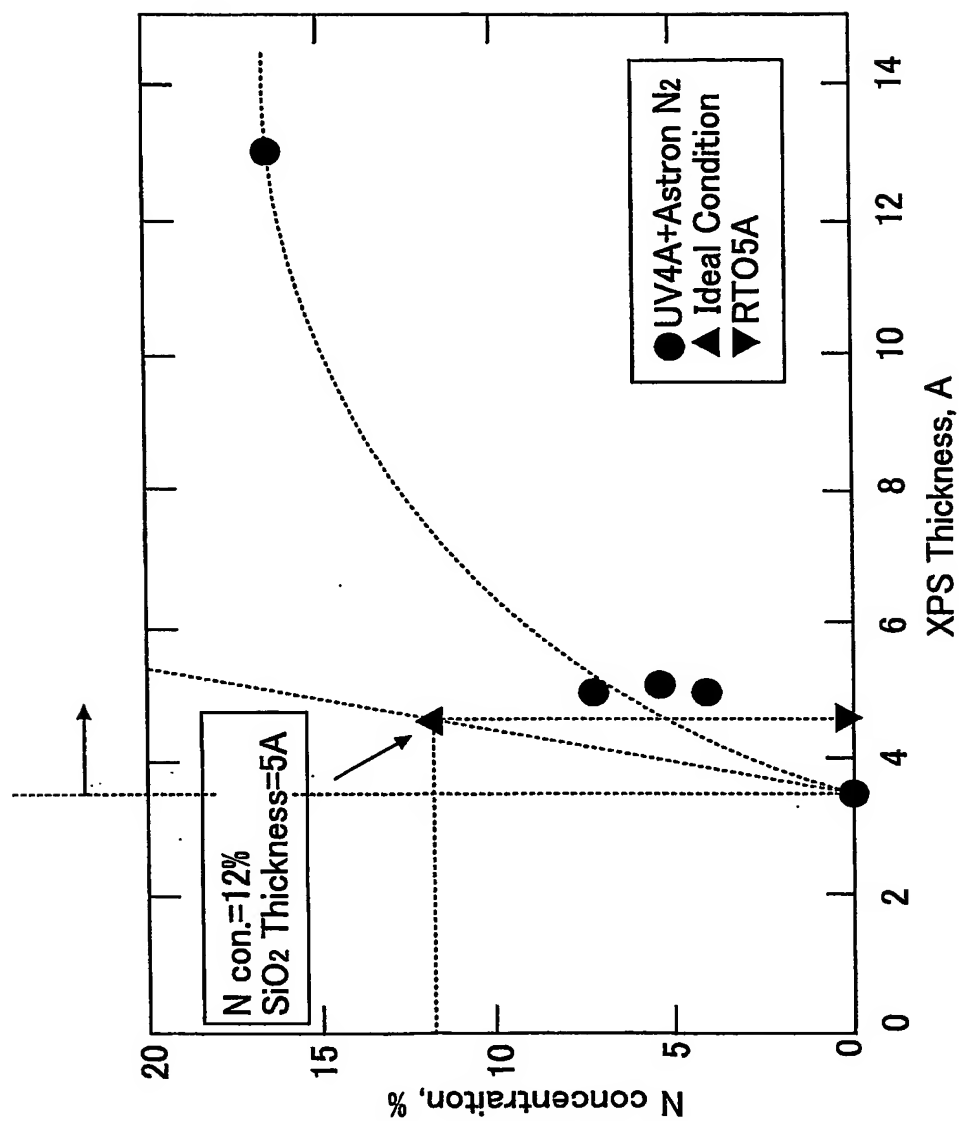


FIG. 64



65/65

FIG.65



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/12084

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/31, H01L21/02, C23C16/46, H05B3/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/31, H01L21/02, C23C16/46, H05B3/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 09-030893 A (Hitachi Electronics Engineering Co., Ltd.), 04 February, 1997 (04.02.97), Par. Nos. [0012] to [0014]; Fig. 1 (Family: none)	1-2, 4-5, 8-9 <u>3, 6-7, 10</u>
Y	US 5903711 A (Tokyo Electron Ltd.), 11 May, 1999 (11.05.99), Fig. 1 & JP 09-260364 A Par. No. [0022]; Fig. 1	3, 6-7
Y	US 5904872 A (Tokyo Electron Ltd.), 18 May, 1999 (18.05.99), Fig. 9 & JP 08-315965 A Fig. 9	10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
12 December, 2003 (12.12.03)

Date of mailing of the international search report
24 December, 2003 (24.12.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl¹ H01L21/31、H01L21/02、C23C16/46、H05B3/14

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl¹ H01L21/31、H01L21/02、C23C16/46、H05B3/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP 09-030893 A(日立電子エンジニアリング株式会社)1997.02.04、 【0012】-【0014】、図1(ファミリーなし)	1-2, 4-5, 8-9 3, 6-7, 10
Y	US 5903711 A(Tokyo Electron Limited)1999.05.11、FIG.1 & J P 09-260364 A 【0022】、図1	3, 6-7
Y	US 5904872 A(Tokyo Electron Limited)1999.05.18、FIG.9 & J P 08-315965 A 図9	10

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

12.12.03

国際調査報告の発送日

24.12.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

加藤 浩一



4E

8617

電話番号 03-3581-1101 内線 3469